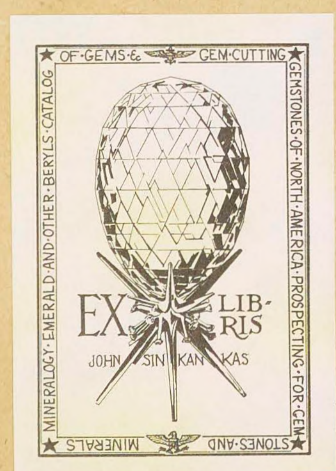
Das Reich der Kristalle

von

Dr. H. Lück und Dr. E. Schiebold

Mit 90 Abbildungen



Leipzig
Verlagsbuchhandlung E G Weimann

Erster Teil. Mineralogie

Erster Abschnitt. Einleitung

Die Mineralien (mineralis = zum Bergwerk gehörig, logos = Lehre) und alle aus ihnen hervorgegangenen Stoffe bilden das wesentlichste Baumaterial der Erde. Leider sind die grundlegenden Fragen dieses Wissensgebietes noch weiten Kreisen unbekannt. Das Ziel unserer Darlegungen soll sein zu zeigen, wie in dem ungeheuerlich weiten Reiche der Kristalle (krystallos = Eis und der von den Alten als Eis angesehene Bergkristall) große, eherne Gesetzmäßigkeiten herrschen zwischen der Gestalt und dem inneren Aufbau, ferner welches gewaltige Rüstzeug der Naturforscher aus der Erkenntnis von dem eigentlichen Wesen der Kristallwelt gewinnt und wie endlich in neuerer Zeit auf Grund solcher Erkenntnisse der Menschheit ein ungeheurer Nutzen im Kampfe ums Dasein erwachsen ließ.

Ohne die Nachbarwissenschaften: Physik (physiks = Naturforschung), Chemie (chemeia = ägyptische Kunst), und Mathematik (mathema = das Wissen) kann keine Mineralkunde bestehen; andererseits ist sie wiederum die Grundlage für die Gesteinskunde (Petrographie) (petra = der Stein, graphein = schreiben) Die letztere wiederum bildet einen wichtigen Zweig der Erdgeschichte (Geologie) (ge = Erde). Es ist so wie im menschlichen Leben: aus dem Zusammenwirken der Einzelwesen hat jedes seinen Nutzen; so gibt es auch keinen Zweig der Wissenschaft, der von allen anderen losgelöst selbständig gedeihen könnte. Pflicht des Staates ist es aber, sie alle zu fördern, denn ob unmittelbar oder erst mittelbar nehmen wir aus ihnen die Mittel und Wege, um den Kampf ums Dasein so vorteilhaft wie möglich zu führen.

Gerade die neueste Zeit hat bewiesen, daß die gegenseitige Durchdringung der Einzelwissenschaften wichtige Fortschritte in der menschlichen Erkenntnis gebracht hat. Auch für die Kristallkunde ist jetzt die Zeit gekommen, wo sie aus ihrem bisher von nur wenigen Fachkundigen betretenen Hause hervorkommen muß und auch einem größeren Kreise verständlicher werden wird. Bevor wir an den Gegenstand im einzelnen herangehen, sei an nur zwei Beispielen die große Bedeutung der Mineralogie dargetan.

Ein Chemiker arbeitet im Laboratorium einer Fabrik an der Herstellung eines neuen Stoffes, etwa eines Farbstoffes. Sein Streben geht darauf aus, den gesuchten Körper in reinster Form, das ist aber in Form von Kristallen, zu bekommen. Solange das neue Produkt immer nur als „Schmiere" auftritt, ist von einem reinen Stoffe keine Rede. Erst der kristallisierte Zustand ist die reinste Erscheinungsform allen Stoffes. Bisweilen sind allerdings zu ihrer Herstellung Temperaturen von weit unter 0° nötig.

Aus den Kalisalzbergwerken Deutschlands werden die für Landwirtschaft und Technik ungeheuer wichtigen Kalisalze in gewaltiger Menge gefördert. Die vielen verschiedenen Salzarten, die im Schoße der Erde miteinander vergesellschaftet vorkommen, müssen für einzelne Verwendungszwecke erst in chemischen Fabriken, besonders den sog. Chlorkaliumfabriken, getrennt werden. Das geschieht durch Auflösen in heißem Wasser, aus dem sich dann beim Abkühlen Kristalle abscheiden. Auflösung und Abscheidung werden wiederholt, wenn man ganz reine Kristalle und damit reine Stoffe haben will. Den Arbeitsgang aber richtig zu leiten, ist ohne Mitwirkung der Mineralogie neben der Chemie ausgeschlossen.

Einen Einblick in den inneren Aufbau allen Stoffes zu gewinnen, ist mit eines der Endziele menschlichen Forschens und Philosophierens. Die Physik und Chemie haben uns im Laufe von Jahrzehnten zu gewissen Vorstellungen darüber verholfen, die aber erst in den letzten Jahren durch die Verwendung von Röntgenstrahlen bei der Untersuchung von Kristallen in wunderbarer Weise geklärt und vervollkommnet worden sind. Schon wissen wir, wie einzelne Stoffe (z. B. Kupfer, Kochsalz oder Kalkspat) aus kleinsten Teilchen aufgebaut sind; schon sehen wir durch schmale Ritzen in den Toren, wie es stellenweise in dem unermeßlichen Reiche dahinter wunderbar zugeht. Diese Vorgänge in ihrem wesentlichen zu erfassen, ist der Zweck der folgenden Darstellung. Manchmal wird es nicht ganz leicht sein, das viele Neue und Wichtige zu fassen, aber am Ziele angelangt, wird doch auch hier aufgehen die Erkenntnis von der Harmonie in diesem besonderen Reiche der Natur, dem der Kristalle.

Zweiter Abschnitt. Die Mineralien als Baumaterial der Erdkruste

Wie die Erdkruste geworden ist, soll hier nicht erörtert werden. Sie setzt sich zusammen aus der Lithosphäre (lithos = Stein, sphaera = Kugel), dem Gesteinsboden und der Hydrosphäre (hydor = Wasser), der Wasserhülle. Über beiden liegt die Atmosphäre (atmos = Dampf), die Lufthülle.

Welche Dicke, Mächtigkeit, die feste Gesteinshülle hat, ist noch ein strittiger Punkt. Mit dem tiefsten Bohrloch (Czuchow, Oberschl.) hat man

nur etwas über 2000 m erreicht bei einer Erdtemperatur von fast 70° C. Denken wir uns an dieser Stelle noch über 12 500 km in gleicher Richtung weitergegangen, so käme man einige tausend Kilometer von Neuseeland entfernt im Großen oder Stillen Ozean wieder an die Erdoberfläche. Wie tief müßte man also mit einer Nadel in einen Globus von 1 m Durchmesser hineinstechen, um das tiefste Bohrloch anzudeuten? (Antwort: 0,16 mm, denn x cm : 100 cm = 200 000 cm : 1 250 000 000 cm.) Was bedeuten also jene 2 km gegenüber dem gewaltigen Wege durch die ganze Erde hindurch! Der Schweizer Mineraloge Niggli hat aus gemessenen Verschiebungen innerhalb der Erdkruste berechnet, daß uns insgesamt überhaupt nur 16 km, das sind 0,13% vom Durchmesser der ganzen Erde, bis jetzt zugänglich sind, also auch das nur ein verschwindend kleiner Teil des Erdganzen.

Die Unmenge von Bausteinen, aus denen sich dieser uns zugängliche Teil der Erde zusammensetzt, zu beschreiben, zu ordnen, die inneren Zusammenhänge zwischen ihnen aufzudecken, ihr Werden und Vergehen in der Natur zu verfolgen und im Versuche (Experiment) künstlich nachzuahmen, das alles ist Sache der Mineralogie. Während der Arbeit kommt man bald dazu, die gewonnenen Ergebnisse zu verallgemeinern, also schließlich zu „philosophieren". Schon die Naturforscher des Altertums brachten es dazu, sich über den inneren Bau der Kristalle gewisse Vorstellungen zu machen, aber erst nach über 2000 Jahren sind wir jetzt so weit, mit Hilfe der Röntgenstrahlen in das eigentliche Wesen der Kristallwelt hineinzuleuchten und mit größter Sicherheit zu sagen, wie darin die kleinsten Bauteilchen, die Atome (atomos = nicht weiter teilbar), gruppiert sind. Von der Tragweite dieser Erkenntnis kann sich der Fernstehende kaum einen rechten Begriff machen. Es ist unsere Aufgabe, das Verständnis dafür zu fördern. Dazu müssen wir uns vorher mit den nötigen Kenntnissen vertraut machen.

Ein Blick in unsere Umgebung, in unsere Wohnung, unsere Arbeitsstätte zeigt, daß Unmengen der verschiedensten Mineralien die Rohstoffe zu vielen uns unentbehrlich gewordenen Gebrauchsgegenständen sind. Der Silberbelag des Spiegels oder eines Schmuckgegenstandes, die lichtempfindliche, das Bild erst erzeugende Schicht der Photographie waren vorher als Schwefelsilber ein selbständiges Mineral oder ein Bestandteil silberhaltigen Bleierzes, z. B. des Bleiglanzes. Die Nickelschicht metallener Gegenstände entstammt den Nickelerzen Nordamerikas. Das Messing im Beschlag eines Möbels setzt sich zusammen aus Kupfer, das z. B. als Kupferkiesmineral bei Eisleben, und aus Zink, das als Zinkblende in Oberschlesien aus mehreren hundert Metern Tiefe gewonnen worden ist. Der eiserne Nagel, die Schraube, der Stahl des Taschenmessers waren roter Glaskopf des Lahntales oder Brauneisenstein des Siegerlandes. Der Graphit des Bleistiftes füllte als Gangmineral Gesteinsspalten auf Ceylon aus. Der zur Tintenbereitung benutzte Eisenvitriol war zuvor gold- und silberhaltiger Kupferkies von Rio Tinto in Spanien. Ohne die reinen Quarzkörnchen, die, jetzt Seesand, einst derbe Quarzmassen von Gebirgsstöcken bildeten, ist kein Glas denkbar. Der weiße Fensteranstrich besteht als „blanc fixe" aus Schwerspat, als Zinkweiß aus Zinkoxyd (Zinkasche), als Bleiweiß aus kohlensaurem Blei, jedenfalls sind Baryum (barys = schwer, hohes Gewicht zeigend), Zink- oder Bleimineralien die Ausgangsstoffe gewesen. Diese kurze Aufzählung zeigt: ohne Benutzung der Mineralien stünden wir noch tiefer als der Mensch der Steinzeit, denn schon er hat sich ihrer zur Herstellung seiner Äxte und Waffen und Werkzeuge bedient.

Dritter Abschnitt. Das Wesen kristallisierten Stoffes

Alle Substanzen kommen in zwei Erscheinungsformen in der Natur vor, die man als **kristallinen** und **amorphen** (a = ohne, morphe = Gestalt) Zustand bezeichnet. An einem Beispiel seien diese Unterschiede erläutert. Jeder kennt den **Kandiszucker**. Er bildet von ebenen Flächen und scharfen Kanten begrenzte Körper. Man erhält sie leicht, wenn man in eine stark eingekochte Zuckerlösung einen Baumwollfaden hängt und sodann die Lösung weiter langsam eindunsten läßt, als schöne große spiegelblanke Kristalle. Durch diese Begrenzung mit ebenen Flächen unterscheidet sich im allgemeinen ein kristallisierter Stoff von einem amorphen. Als Beispiele für letztere seien genannt Glas oder **eingetrockneter Leim**. Sie zeigen keine bestimmte Gestalt, sondern nehmen ganz willkürliche Formen an.

Beschäftigen wir uns im folgenden zunächst mit dem kristallinen Zustand. Schon im Altertum erregten die Kristalle das größte Interesse, doch wußte man noch nicht recht etwas mit ihnen anzufangen. Man hielt sie wegen ihrer glänzenden Oberfläche und meist klaren Durchsichtigkeit für gefrorenes Wasser. Die regelmäßige äußere Erscheinungsform ist indessen nicht das wesentliche und einzige Kennzeichen des kristallinen Zustandes. Zerschlagen wir z. B. einen Kandiszuckerkristall in viele einzelne Bruchstücke, so ist zwar die Gestalt verloren gegangen, aber jedes einzelne Bruchstück ist mit dem Ausgangsmaterial wesensgleich, also kristallin geblieben. Denn

bringt man es wieder in eine genügend stark eingedickte Zuckerlösung, so umgibt es sich allmählich wiederum mit ebenen Flächen. Man kann die Zerteilung des Zuckerkristalles so weit treiben, daß nur ein feines Pulver zurückbleibt, ohne daß der kristalline Charakter jedes einzelnen Teilchens verloren ginge. Man nennt einen solchen Stoff, dessen einzelne Teilchen sich alle untereinander gleich verhalten, einen **homogenen** Stoff. Prüfen wir in diesem Sinne einen Organismus, z. B. den Tierkörper oder ein pflanzliches Gebilde, so erkennen wir, daß von homogenem Bau hier keine Rede sein kann, da gewisse Organe (Herz, Leber, Niere oder Blätter, Stengel, Staubgefäße) vor anderen in ihrem inneren und äußeren Bau ausgezeichnet sind. Beim Kristall dagegen finden wir stets dasselbe Verhalten, gleichgültig, wo die betrachtete Stelle im Kristall liegt.

Wir wollen im folgenden weitere Eigenschaften des kristallinen Zustandes aufsuchen. Dazu nehmen wir einen **Bergkristall** (Abb. 1).



Abb. 1. Mit Quarzkristallen erfüllter Hohlraum (Kristalldruse)

Bekannt sind solche wohl jedem, denn sie finden sich in oftmals prächtigen Exemplaren in jeder Mineraliensammlung selbst der einfachsten Dorfschule. Und gelegentlich wird sie der oder jener auf seinen sommerlichen Wanderungen gefunden und mit nach Hause genommen haben. Bekannte Fundorte schöner Bergkristalle sind unsere meisten deutschen Mittelgebirge (Harz, Erzgebirge, Fichtelgebirge). Die in der Abbildung wiedergegebenen Kristalle bestehen aus einer senkrechten (vertikalen) sechsseitigen Säule, deren ebene Flächen jeweils Winkel von 120° miteinander einschließen. Nach oben und unten wird der Kristall von je 6 Flächen in Form von Dreiecken begrenzt. Man nennt eine derartige Flächenanordnung eine sechsseitige Pyramide. Die Flächen der sechsseitigen Pyramiden und der Säule schneiden sich jeweils in scharfen horizontal liegenden Kanten. Es liegt also ein sprunghaft regelmäßiger Wechsel in der Art der Begrenzung vor.

Ein weiteres Beispiel für Gesetzmäßigkeiten in der äußeren Begrenzung ist das in der Natur ebenfalls weit verbreitete Mineral **Kalkspat**. Abb. 2 zeigt eine der am häufigsten vorkommenden Flächenausbildungen. Wir erkennen ebenfalls eine sechsseitige vertikale Säule p, die oben und unten von je drei Flächen e abgeschlossen ist, die aber gegeneinander versetzt sind, so daß die horizontalen Kanten **abwechselnd** oben und unten auftreten.

Eine weitere höchst merkwürdige Eigenschaft des kristallinen Zustandes der Materie (materia = der Stoff) ist die Spaltbarkeit, d. i. die Trennung der Kristalle nach ebenen Flächen. Ein Beispiel wird dieses leicht verständlich machen: Das bekannte **Kochsalz** scheidet sich aus gesättigter Lösung in Form von würfeligen Kristallen aus, wie Abb. 3 zeigt. Schlägt man nun mit einem kleinen Hammer leicht auf eine der Würfelflächen, so zerfällt der große Kristall in eine mehr oder minder große Zahl von Teilwürfeln, also eben begrenzten Bruchstücken. Auch der **Glimmer**, der bekannte in kleinen, meist dunkeln

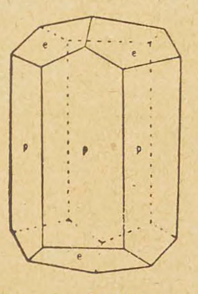


Abb. 2. Kalkspatkristall

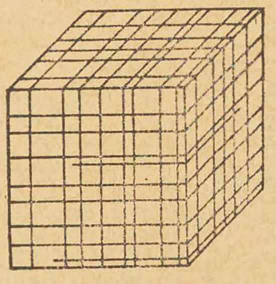


Abb. 3. Spaltbarkeit beim Steinsalz oder Bleiglanz

Täfelchen vorkommende Bestandteil des Granits, zeigt die Eigenschaft der Spaltbarkeit in außerordentlichem Maße. Wegen seiner leichten Biegbarkeit und Hitzebeständigkeit wird er oft als Material für Lampenzylinder und zu Isolationszwecken in der Elektrotechnik verwendet, so daß uns die Beschaffung eines kleinen Stückchens nicht schwer wird. Ein solches läßt sich mit einem scharfen Messer sehr leicht in einzelne Blättchen zerteilen. Einem geschickten Mechaniker gelingt es auf diese Weise, hauchdünne Glimmerblättchen herzustellen, die nur rund ein Hundertstel Millimeter dick sind. Solche Blättchen, unter dem Namen ¼ Undulationsglimmerblättchen bekannt, spielen bei der optischen Untersuchung der Mineralien und Gesteine eine große Rolle. Auch der **Gips** weist eine vollkommene Spaltbarkeit auf. Fragt man sich nach der Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung, die die Kristalle wiederum in Gegensatz zu den Organismen bringt, so wird man notwendigerweise dazu geführt, daß eine Verschiedenheit des Zusammenhaltes der einzelnen Kristallteilchen in verschie-

denen Richtungen vorhanden ist. Jeder Kristall zeigt also nach bestimmten Richtungen kleinste Werte des Zusammenhaltes oder der Kohäsion (cohaerere = zusammenhalten), welche sich dadurch offenbaren werden, daß er in solchen Richtungen leichter zerrissen oder nach den darauf senkrechten Richtungen durch Verwendung eines Messers, Meißels und dergleichen leichter gespalten werden kann als nach anderen Richtungen.

Auch gegenüber den Lichtstrahlen zeigen die Kristalle ein völlig anders geartetes Verhalten als die amorphen Stoffe. Blickt man durch einen

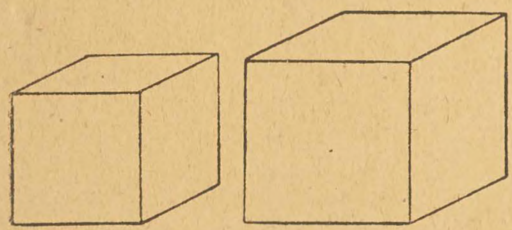


Abb. 4. Einfluß der Wärme auf amorphe Körper: Würfel → Würfel

farbigen, aber durchsichtigen Kristall, dann erscheinen je nach der Blickrichtung verschiedene Farben oder wenigstens Schwankungen in der Farbe von hell zu dunkel. Der geschätzte Edelstein Smaragd hat diese merkwürdige Eigenschaft in hohem Maße, den wenigsten Besitzern eines solchen Kleinodes ist dies aber bekannt. Der Smaragd ist seit alter Zeit schon wegen seines warmen grünen Farbtones geschätzt. Diamanten, Perlen und Smaragd nennt bereits Plinius (23—79 n. Chr.) die kostbarsten Juwelen.

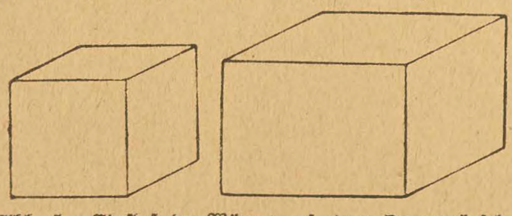


Abb. 5. Einfluß der Wärme auf einen Quarzwürfel: Würfel → Säule

Als Kristall findet man den Smaragd gewöhnlich in sechsseitigen Säulchen, die oben und unten mit einem reichen Flächenschmuck versehen sind. Ein charakteristisches Kennzeichen ist folgendes: Blickt man durch den Kristall in der Richtung seiner vertikalen oder senkrechten Achse (Hauptachse) hindurch, so erscheint er grün; in der dazu senkrechten Richtung dagegen herrscht eine grünlichblaue Färbung, die sich bei Benutzung des später beschriebenen Nikolschen Prismas als aus den Farben grün und blau zusammengesetzt ergibt.

Das Verhalten der Kristalle gegenüber der Wärme ist sonderbarerweise auch von der Richtung im Kristall abhängig. Ein Glaswürfel, also ein Körper, den wir als „amorph" bezeichnet haben, dehnt sich bei der Erhitzung vollkommen gleichmäßig aus: der Würfel bleibt also ein Würfel (Abb. 4). Nehmen wir dagegen einen Würfel, der mit vieler Mühe aus einem Bergkristall herausgeschnitten worden ist, so nimmt dieser beim Erhitzen die Gestalt einer Säule mit quadratischem Querschnitt an, denn der Quarzwürfel dehnt sich in Richtung der Säule nur etwa halb so stark aus wie in der dazu senkrechten Richtung (Abb. 5).

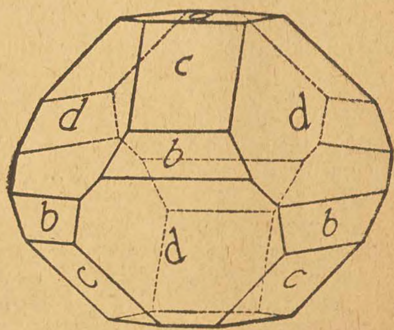


Abb. 6a. Kalkspatkristall

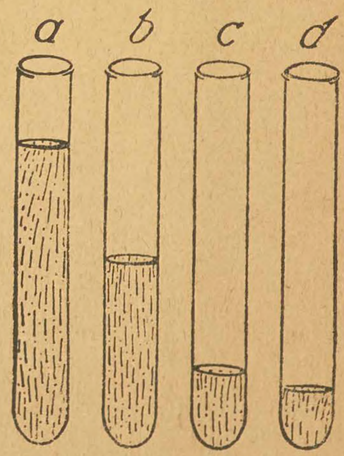


Abb. 6b. Die Mengen des auf den verschiedenen Flächen des Kalkspatkristalles entwickelten Kohlensäuregases:

a = 551 ccm
b = 335 „
c = 159 „
d = 149 „
} Kohlensäuregas

Auch in chemischer Hinsicht zeigen die Kristalle einen gesetzmäßigen Wechsel. Nimmt man z. B. einen Kalkspatkristall, wie er in Abb. 6a

argestellt ist und in einfacherer Form von allerdings winziger Größe zu Millionen und Abermillionen von Individuen unseren Marmor (Grabdenkmäler, Tischplatten, Schalttafeln) zusammensetzt (Abb. 7) und prüft man an einem genügend großen derartigen Kristall das Verhalten zu einer Säure, z. B. Salzsäure, so zeigt sich einmal, daß der Kristall von der Säure unter gleichzeitiger Entwicklung eines Gases (Kohlensäure, Kohlensäureanhydrid oder Kohlendioxyd genannt) angegriffen wird. Aber die Mengen des Gases, die auf den verschiedensten Flächen entwickelt werden, sind außerordentlich verschieden, wie die in Abb. 6b dargestellten, den Flächen a, b, c, d zukommenden Mengen zeigen.

Ein anderes Beispiel bietet der uns schon bekannte Quarz. Schneidet man einem solchen Kristall die Spitze ab und läßt man alsdann die zum Glasätzen vielbenutzte Flußsäure — am

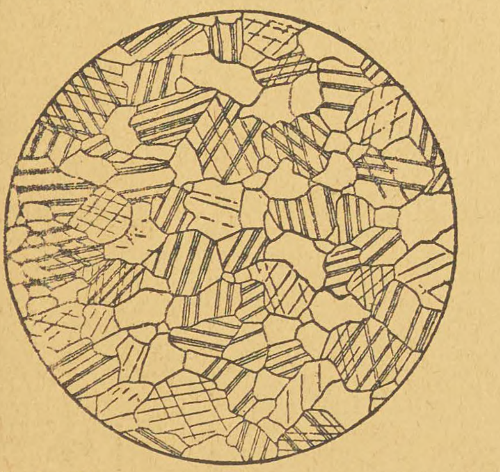


Abb. 7. Marmor von Carrara. Kalkspatkristalle verzwillingt. Vergrößerung 30 ×

besten in Dampfform — auf die entstandene Fläche einwirken, so löst sie auf dieser rund 150 mal soviel Substanz weg als auf einer Säulenfläche.

Welche Bedeutung hat das für die in der Natur vorkommenden Kristalle? Denselben Versuch, den wir im Laboratorium in der Zeitdauer von wenigen Stunden angestellt haben (Abb. 6), nimmt auch die Natur vor, indem sie z. B. kohlensäurehaltiges Wasser auf Kalkspatkristalle einwirken läßt. Die verschiedenartige Einwirkung solchen Wassers macht sich dadurch kenntlich, daß die senkrechten Säulenflächen glänzend bleiben, während die sechsseitigen Endflächen der Kristalle milchig getrübt erscheinen. Früher mußte man sich den Grund dafür nicht zu erklären.

Am besten lassen sich solche Versuche mit Kugeln ausführen. Legt man eine Glaskugel und eine gleichgroße Quarzkugel in Flußsäure, so wird die erstere sich in vollkommen gleicher Gestalt verkleinern und schließlich, wenn man den Versuch lange genug fortsetzt, ganz verschwinden. Eine Glaskugel zeigt aber keine verschiedene Löslichkeit mit der Richtung (Abb. 8a). Die Quarzkugel verändert in der Flußsäure vollständig ihre Gestalt und es entsteht ein regelmäßiger, mit Ecken und Kanten versehener Körper, ein sog. „Lösungskörper". Überläßt

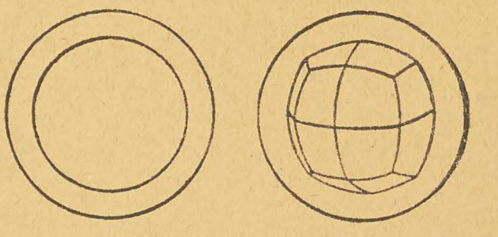


Abb. 8. Lösungskörper
a) einer Glaskugel b) einer Steinsalzkugel

man ihn weiterhin der Einwirkung der Flußsäure, so behält er seine Gestalt und wird nur kleiner.

Ganz entsprechend würde eine Kugel aus Steinsalz, die in Wasser gelegt wird, einen Lösungskörper ergeben, der das Aussehen von Abb. 8b hat.

Oben wurde gesagt, daß die Eigenschaften der Kristalle mit der Richtung wechseln. Fragen wir, wie sich Richtung und Gegenrichtung dabei verhalten. Als einfachstes Beispiel wählen wir einen Kristall, der „Tetraeder" (Abb. 9) bildet. Ein solches Tetraeder wird von vier gleichseitigen Dreiecken begrenzt. Denken wir, es bestände aus Plastilina oder einer anderen knetbaren Masse. Steckt man nun eine Nadel wagerecht, aber sonst in beliebiger Richtung durch den Körper hindurch, so wird er sich so einstellen, daß sein „Schwerpunkt" die tiefste Lage einnimmt. Wird die Nadel in wagerechter Richtung durch diesen Schwerpunkt selbst gestochen, so kann man dem Körper jede beliebige Lage geben: Er wird immer freiwillig in dieser Lage verharren. Wir gehen von dem Schwerpunkte eines solchen Tetraeders, der hier also mitten in dem Körper liegt, nach einer bestimmten Richtung, z. B. nach einer Ecke. In umgekehrter Richtung stoßen wir auf die Mitte einer Fläche. Die betrachtete Richtung hat also zwei „Pole". Man sagt auch, das Tetraeder ist ein Körper mit Polarität.

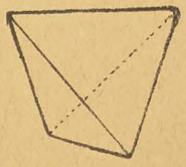


Abb. 9. Tetraeder als Beispiel der Polarität

Ein in Tetraedern vorkommender Stoff ist z. B. Zinkblende, unser wichtigstes aus Schwefel und Zink bestehendes Ausgangsmaterial zur

Gewinnung metallischen Zinkes. Beim Erhitzen eines solchen Kristalls über einer Flamme wird seine Spitze positiv, die gegenüberliegende Fläche dagegen negativ elektrisch geladen, genau so wie ein Hartgummistab durch Reiben mit einem wollenen Tuch positiv, ein Glasstab negativ geladen wird. Nur besteht der Unterschied darin, daß der Zinkblendekristall ein und derselbe Körper ist, Glas und Hartgummi dagegen zwei verschiedene Körper sind.

Ein anderes Beispiel für solche Polarität: Lege ich ein solches Tetraeder in Salzsäure, so wird nur die Fläche, lege ich es dagegen in scharfe Lauge (Kali- oder Natronlauge), so wird nur die Spitze angegriffen.

Vierter Abschnitt. Das Wesen nichtkristallisierten (amorphen) Stoffes

Der Name amorph bedeutet, wie bereits gesagt, gestaltlos. Amorphe Minerale werden also niemals von ebenen Flächen in regelmäßiger Weise begrenzt. Schmelzen wir in einem Löffel Wachs und lassen wir etwas von der geschmolzenen Masse in kaltes Wasser tropfen, so entstehen mehr oder weniger kugelförmige Körperchen. In anderen Fällen nehmen diese Substanzen eigenartige, ganz von ihrer Umgebung abhängige Gestalten an, z. B. schlauchförmige oder blütenähnliche, wie die besonders auf alpinen Eisenerzlagerstätten sehr schnell entstehenden baumartig verzweigten Kalkkrusten der „Eisenblüte" oder des Aragonits, d. i. kohlensauren Kalkes (Abb. 10).

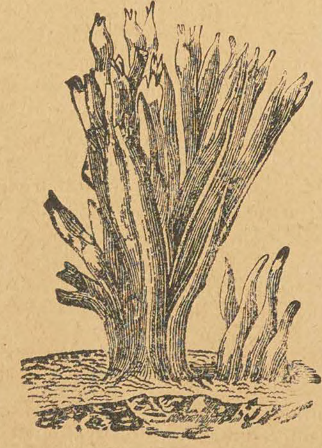


Abb. 10. Eisenblüte vom steirischen Eisenerzberg

Der bekannteste, künstlich hergestellte amorphe Körper ist das Glas, das häufigste, natürlich vorkommende amorphe Mineral der Opal. Er läßt niemals eine Spur von Spaltbarkeit erkennen. Licht und Wärme breiten sich in ihm nach allen Richtungen gleich schnell aus. Eine aus Opal geschliffene Kugel bleibt beim Erwärmen stets eine Kugel (vgl. Abb. 4).

Die kleinsten Bestandteile solcher amorpher Körper sind aus mikroskopisch feinen Kriställchen, die bisweilen so geringe Abmessungen annehmen können, daß man sie mit den gebräuchlichen Hilfsmitteln, also der stärksten Vergrößerung des Mikroskopes unter Benutzung gewöhnlichen weißen Lichtes überhaupt nicht mehr erkennen kann, in vollständig wirrer Lage durcheinander aufgebaut.

Könnte man diese winzigen Kriställchen einzeln herausnehmen und ordnungsmäßig nebeneinander aufbauen, so wäre der amorphe Stoff in einen kristallisierten Stoff verwandelt.

Die Weiterentwicklung unserer Beobachtungswerkzeuge, also des Mikroskopes und in neuester Zeit der Untersuchungen mittels Röntgenstrahlen hat erwiesen, daß viele Stoffe, die man noch vor einigen Jahren als amorphe bezeichnete, in Wirklichkeit ein Gemenge von ungeheuer kleinen Kriställchen sind. Ganz neuerdings hat die Untersuchung der Faserstoffe, also z. B. des Flachses und der Baumwolle gezeigt, daß sie eine kristalline Struktur haben. Es leuchtet ein, daß infolge der wirren Lage der einzelnen Teilchen bei physikalischen oder chemischen Messungen nur sog. „Mittelwerte" sich feststellen lassen, weil ja die Kriställchen bei dem wirren Durcheinander ihre besonderen Eigenschaften gegenseitig zur Aufhebung bringen.

Nicht zu verwechseln mit einem amorphen Mineral ist ein dichtes Mineral, denn dieses besteht nur aus meist mikroskopisch kleinen Kristallkörnchen. So ist gewöhnlicher Kalkstein, wie er als Baustein oder als Lithographiestein Verwendung findet, ein Gemenge von äußerst winzigen Kalkspatkriställchen. Zu Millionen liegen sie dicht aneinander, jeder hat während seines Wachstums den dargebotenen Raum auszufüllen versucht und so eine unregelmäßige Oberfläche seines eigenen Leibes und desjenigen seiner Nachbarn geschaffen (vgl. auch Abb. 7). Indessen hat jedes Kriställchen für sich dieselben Eigenschaften wie der bereits oben in Abb. 6a erwähnte große Kalkspatkristall. Vom dichten Kalkstein an bestehen alle möglichen Übergänge bis zum grobkörnigen Marmor, dessen Zusammensetzung aus einzelnen Kristallindividuen (individuum = das Einzelwesen) viele Kunstwerke erkennen lassen, besonders bei Zuhilfenahme einer Lupe (lupus = der Wolf; lupa = die Wolfsgeschwulst und die ähnlich geformte

Glaslinse). Auch die meisten Metalle sind keine amorphen Stoffe, trotzdem sie sich in beliebige Formen gießen lassen. Weiteres hierüber wird später erläutert.

Fünfter Abschnitt. Umwandlung der kristallinen und amorphen Stoffe ineinander

Von hohem naturwissenschaftlichem Interesse und vor allem von größter technischer Bedeutung ist die Tatsache, daß kristalline Stoffe in amorphe umgewandelt werden können und umgekehrt. Dabei zeigt sich, daß dem amorphen Zustand ein größerer Energieinhalt zukommt als dem kristallinen. Unter Energieinhalt (energeia = die Tatkraft) eines Stoffes versteht man in naturwissenschaftlichem Sinne die Fähigkeit, eine Arbeit zu leisten, also z. B. Wärme zu entwickeln, elektrischen Strom zu erzeugen, Licht auszustrahlen, eine Last zu heben und ähnliches mehr. Daß dem amorphen Zustand ein größerer Energieinhalt zukommt als dem kristallinen, kann am einfachsten daran erkannt werden, daß beim Übergang vom kristallinen zum amorphen Körper, also beim Schmelzen Wärme, also eine besondere Form der Energie, verbraucht wird. Umgekehrt muß natürlich beim Übergang vom flüssigen Körper, von der Schmelze zum festen kristallinen Zustand, also beim Erstarren dieselbe Wärmemenge wieder frei werden. Ein Beispiel: Ein Schwefelkristall wird erhitzt. Bis zu dem Punkte, bei dem er schmilzt, muß er viel Energie hier in Form von zugeführter Wärme aufnehmen. Habe ich andererseits geschmolzenen Schwefel und lasse ich ihn durch Abkühlung erstarren, so gibt er während dieser Erstarrung dauernd die ihm erst durch das Schmelzen einverleibte Wärmemenge und zwar die gleiche Wärmemenge wieder ab. Daß es nur die gleiche Wärmemenge sein kann, leuchtet ein, denn sonst wäre es möglich, durch Wiederholung des Schmelz- und Erstarrungsvorganges mit recht großen Mengen von Schwefel mehr Wärme herauszuholen als hineingesteckt worden ist. Mit dieser jedesmal gewonnenen Wärmemenge könnte man z. B. Wasser erhitzen, also Dampf entwickeln und mit ihm wieder eine — wenn auch kleine — Dampfmaschine treiben. Man hätte also Wärme- und mechanische Energie aus nichts gewonnen und damit ein Perpetuum mobile, also eine Maschine, die dauernd Arbeit leistet, ohne daß sie irgendeine andere Art von Energie dafür zugeführt bekommt. Ein solches Perpetuum mobile (= das dauernd bewegliche) ist aber unmöglich.

Oft geht nun die Erstarrung so rasch vor sich, daß die kleinsten Teilchen sich in der kurzen Zeit gar nicht zu Kristallen zusammenfinden können. Es entsteht dann als amorph-fester Körper ein Glas, gleichsam als Zwischenkörper. Die gesamte Wärmemenge, die sonst beim Kristallisieren frei werden würde, ist noch in ihm gebunden enthalten. Regt man nun einen solchen Körper durch äußere Einwirkungen, etwa geringes Erhitzen, an zu kristallisieren, so wird die gebundene Wärmemenge meist sehr schnell frei. Beispielsweise steigt bei glasig erstarrtem Natriumsilikat, einem Stoff, den man sich sehr leicht durch Zusammenschmelzen von Sand und Soda selbst herstellen kann, durch geringe Erwärmung die Temperatur so plötzlich an, daß die ganze Masse durch Freiwerden der Kristallisationswärme ins Glühen gerät.

Sehr wichtig ist, daß beim Übergang vom kristallinen zum amorphen Zustand und umgekehrt — man drückt das sehr kurz und klar so aus: kristallin $\rightleftarrows$ amorph — sich alle Eigenschaften, die für den betreffenden Zustand charakteristisch, eigentümlich sind, plötzlich sprungweise ändern. Man sagt auch, die Änderung ist diskontinuierlich (dis = nicht, continuus = stetig). Diese Erscheinung ist für die Praxis sehr wichtig. Ein Stück Bergkristall wiegt z. B. 2,65 mal soviel wie die gleiche Menge Wasser von 4° C oder man sagt auch, das spezifische Gewicht des Quarzkristalls ist 2,65. Schmilzt man nun den Kristall zu Quarzglas, so wiegt dieses nur 2,21 mal soviel als die entsprechende Raummenge (oder das Volumen) Wasser.

Es ist auch sehr leicht möglich, diese Änderungen im Innern der Körper durch Beobachtung mit besonderen Instrumenten (Polarisations-Mikroskop, vgl. S. 31) von außen her wahrzunehmen. Solche Instrumente stellen also eine außerordentliche Erweiterung unserer Sinneswerkzeuge dar, denn kein menschliches Auge vermag solche Umwandlungen unmittelbar wahrzunehmen.

Die Größe des Sprunges in den Eigenschaften kann natürlich bei den verschiedenen Mineralien und für verschiedene Eigenschaften sehr stark wechseln, oft aber auch sehr gering sein. Das ist z. B. der Fall beim „Erweichen". Die meisten Kristalle schmelzen bei Erreichung des Schmelzpunktes rasch, d. h. die Substanz wird plötzlich flüssig. Das kennt jeder, der z. B. im graphischen Gewerbe mit dem Gießen von Letternmetall zu tun hat: das Blei oder die Mischung von Blei und Antimon wird plötzlich flüssig. Andere Mineralien, wie Feldspat oder Quarz, die Hauptbestandteile des Granits, haben vor und nach der Umwandlung kristallin → amorph keine merklich verschiedene Starrheit. Beim Quarz liegt der Umwandlungspunkt kristallin → amorph bei 1450°, geschmolzenes Quarzglas ist dagegen erst bei rd. 1600° flüssig. Man stellt nun verschiedenartige Mischungen leichter oder schwerer

schmelzbarer kieselsäurehaltiger Mineralien her, formt diese zu verschiedenen, mehrere Zentimeter hohen dreiseitigen Pyramiden — Segerkegeln, Abb. 11 — und stellt im Laboratorium in Versuchsöfen mit Hilfe elektrischer Thermometer fest, bei welcher Temperatur ihre Spitze anfängt, sich abwärts zu neigen. In Porzellan-Brennöfen eingestellt, lassen sie dann durch die gleiche Beobachtung die Innentemperatur ziemlich genau erkennen.

Sechster Abschnitt. Das Kristallisieren

Kristalle bilden sich aus gasförmigen, flüssigen und auch aus festen amorphen Stoffen, weiterhin auch durch Umlagerung der kleinsten Teilchen (Moleküle, molecula = das Urteilchen) bereits kristalliner Stoffe.

Die Bildung von Kristallen aus gasförmigem Zustand nennt man *Sublimation*. Die „Schwefelblumen" des Handels, das äußerst feine gelbe Schwefelpulver, das z. B. zur Bekämpfung von Pflanzenschädlingen ausgedehnte Verwendung findet, sind aus Schwefeldampf plötzlich niedergeschlagene feinste Kriställchen. Kühlt man Wasserdampf sehr rasch ab, etwa indem man den Raum, in dem er sich befindet, plötzlich stark vergrößert, so entstehen winzige Schneekriställchen.

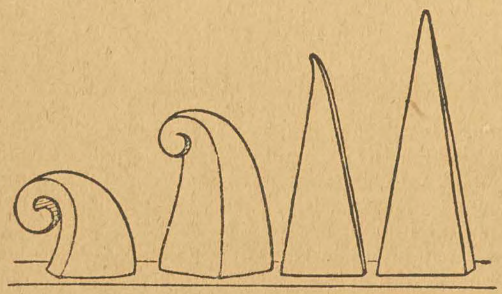


Abb 11. Segersche Normalkegel

Kristallisation findet zumeist aus flüssigen Stoffen, Medien (medium = das Mittel) heraus statt, also entweder aus Schmelzflüssen (geschmolzenen, vorher festen Substanzen) oder aus Lösungen.

Das *Lösungsmittel*, der Stoff also, in welchem der andere oder auch mehrere andere zugleich gelöst sein können, ist zumeist Wasser.

Für jede Temperatur und für jeden Druck besteht eine bestimmte *Löslichkeit*, d. h. ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Menge des gelösten Stoffes und der des Lösungsmittels. Es ist gebräuchlich, die Löslichkeit auf 100 Teile des Lösungsmittels zu beziehen. So lösen sich z. B. in 100 g Wasser

von 10° C rd. 36 g Kochsalz
„ 50° C rd. 37 g „
„ 100° C rd. 39 g „

Dagegen lösen sich von Gips bei 20° nur 0,2 g.

Bringt man weniger von dem festen Stoff mit der Flüssigkeit zusammen als der Löslichkeit entspricht, so geht alles in Lösung und die Flüssigkeit heißt *ungesättigt*, da sie noch weitere Mengen des festen Stoffes aufnehmen könnte. Bringt man mehr von dem festen Stoff hinein als der Löslichkeit entspricht, so nennt man die Lösung *gesättigt*, wobei der Überschuß ungelöst bleibt. Er heißt der „Bodenkörper".

Unter gewissen Umständen lassen sich auch *übersättigte Lösungen* herstellen.

Hieraus ergibt sich nun das allgemeine Verhalten eines festen Stoffes und seiner Lösung, alles Dinge, die im praktischen Leben — wenn auch versteckt und daher nicht sofort erkennbar — eine ungeheuer wichtige Rolle spielen. Der Stoff wird sich nicht früher ausscheiden können, als bis seine Konzentration (d. h. das Verhältnis der gelösten Menge zur Menge des Lösungsmittels; concentrer = vereinigen) größer geworden ist als der Sättigung bei der vorhandenen Temperatur entspricht. Ist diese Konzentration überschritten, so kann die Ausscheidung eintreten, sie erfolgt aber nicht notwendig, da die Lösung auch übersättigt bleiben kann. Hat aber die Ausscheidung einmal begonnen, so geht sie so weit, bis nur noch die der Sättigung entsprechende Menge in der Lösung vorhanden ist.

Die *Änderung der Konzentration* kann auf verschiedene Weise erfolgen,

1. durch *Abkühlen der Lösungen*, die bei höherer Temperatur gerade gesättigt sind. Voraussetzung ist dabei, daß merkliche Lösungsunterschiede mit der Temperatur bestehen. Bei dieser Art von Kristallisation entstehen meist gute Kristalle. Man nennt den Vorgang auch „Umkristallisieren". Der feine Kristallzucker, der ganz grobe Kandiszucker, die Soda, der Chile- und der Kalisalpeter, das Fixiernatron des Photographen und unzählige andere chemische Produkte werden nach dieser Methode (methodos = das Nachgehen) rein dargestellt.

Beim Abkühlen von Schmelzflüssen geschieht das gleiche, nur ist die Trennung der abgeschiedenen Kristalle von dem Rest der Lösung, der „Mutterlauge", meist nicht einfach.

Weiterhin kann man Lösungen auch

2. durch *Verminderung des Lösungsmittels* zum Kristallisieren bringen. Dies geschieht bei flüchtigen Lösungsmitteln, z. B. Alkohol, Äther am leichtesten durch Verdampfen. Beim Eindampfen erhöht sich beständig die Konzentration des gelösten Stoffes, bis beim Sättigungspunkt die Kristallisation eintritt. Der

Vorgang wird als „Kristallisation durch Eindampfen“ bezeichnet. Löst man z. B. Schwefel in Schwefelkohlenstoff (Vorsicht wegen Feuersgefahr!) auf und läßt die Lösung langsam verdunsten, so erhält man schöne rhombische Schwefelkristalle. Ein technisch wichtiger Prozeß ist das Eindampfen der natürlich vorkommenden Kochsalzlösungen, der Salzsolen, wobei das Kochsalz in kristallinischem Zustand gewonnen wird. Die Vorbereitung der Sole durch Erhöhung der Konzentration erfolgt in den Gradierwerken. Gleichzeitig werden durch das Gradieren die schwerer als das Steinsalz löslichen Stoffe vorher, ehe die angereicherte Sole in den Sudpfannen eingedampft wird, als Dornstein auf dem Reisig des Gradierwerkes abgeschieden.

Ein einfacher Versuch ermöglicht uns leicht selbst Kristalle zu züchten: Man übergießt 12 g gepulverten Kalialaun, den man in jeder Drogerie oder Apotheke bekommt, mit 100 g Wasser, erwärmt, bis sich alles gelöst hat und läßt ruhig über Nacht stehen. Am anderen Morgen findet man in der Lösung die schönsten, meist etwas verzerrten Kristalle, die sich bei längerem Stehen noch vergrößern und zahlreicher werden. Es sind reguläre Oktaeder (Achtflächner, Abb. 12) oft noch mit anderen einfachen Formen kombiniert (combinare = verbinden). Wer mit der nötigen Geduld arbeitet, kann innerhalb einiger Monate die prächtigsten Alaunkristalle von 10 cm Höhe erhalten.

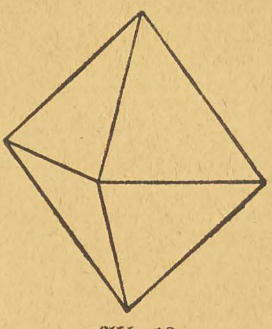


Abb. 12. Achtflächner (Oktaeder) aus Alaun gewonnen

Dem Eisenhüttenmann liegt andererseits daran, große Kristalle und Kristallanhäufungen möglichst zu vermeiden. Das kann z. B. bei der Herstellung einer Eisenbahnschiene dadurch geschehen, daß die Stahlmasse wiederholt gewalzt wird, um die großen Kristalle zu zertrümmern, denn große Kristalle bedeuten Brüchigkeit des Materials.

Siebenter Abschnitt. Die Kristallisation und das Kristallwachstum

Kristalle bilden sich, wie wir gesehen haben, aus gasförmigen, aus flüssigen und aus festen amorphen Medien sowie durch molekulare Umlagerung bereits kristalliner Stoffe. Das Wachsen der Kristalle können wir verfolgen, ihre Entstehung nicht. Wir müssen annehmen, daß an einer oder mehreren getrennten Stellen der Lösung, an der zuvor auch bei stärkster Vergrößerung nichts zu sehen war und wo jetzt der Kristall sich befindet, kleine Anfänge, zarte Keime spontan (spontaneus = freiwillig) entstanden sind, die als Zentrum der Kristallisation wirkten und veranlaßten, daß andere Stoffteilchen sich parallel zum Keime auf ihm absetzten oder daß mehrere der kleinen Kriställchen sich nachträglich infolge „Sammelkristallisation“ zu größeren Kristallen vereinigten. Durch die Abgabe von Stoffteilchen wird die Lösung rings um den sich bildenden Kristall verdünnter, dadurch entstehen sog. Kristallisationshöfe. Diese Vorstellung erklärt die günstige Wirkung, die man zur Auslösung der Kristallisation durch Zuführung kleiner Kristallsplitter in eine übersättigte Lösung, durch „Impfen“ erzielt. Von dieser Tatsache muß die Menschheit oft peinliche Erfahrung machen, denn Glatteis und Hagel bilden sich nur dadurch, daß unterkühlten Wassermassen, also solchen, die bei vielleicht 2° unter Null noch nicht gefroren sind, irgendwoher Eiskristalle zugeführt werden. Alsdann erfolgt mit außerordentlicher Geschwindigkeit ein Erstarren großer Wasserflächen zu Glatteis oder von Wassertropfen zu Hagel.

Das Vermögen der spontanen Keimbildung ist für die verschiedenen Mineralien recht verschieden. Es zeigt sich, daß alle Metalle aus ihren Schmelzen kristallin erstarren, ebenso haben Kochsalz, Alaun u. a. eine hohe Kristallisations-



Abb. 13. Biotitgranit vom Hubenberg bei Pulsnitz, Sachsen; hell: Quarze, trüb: Feldspate, schraffiert: dunkle Glimmer = Biotit. Vergrößerung 15×

fähigkeit. Auch eine ganze Anzahl Mineralien der Eruptivgesteine kristallisieren gut aus, so z. B. Magnetit, Olivin, Hypersthen, während

Quarz, Kalifeldspat u. a. erst mit Hilfe von „Mineralbildnern“, d. i. vor allem Wasserdampf, kristallin erhalten werden (Abb. 13).[1]

Das Kristallisationsvermögen ihrer reinen Schmelze ist äußerst gering, wie jahrelange Versuche, die genannten Mineralien in elektrischen Schmelzöfen künstlich herzustellen, erwiesen haben.

Achter Abschnitt. Das Wachsen der Kristalle

Während die Organismen, d. s. die tierischen und pflanzlichen Lebewesen, sich vermöge ihres Stoffwechsels durch innere Nahrungsaufnahme vergrößern, wachsen die Kristalle durch Anlagerung, durch Umschalung des Stoffes so,

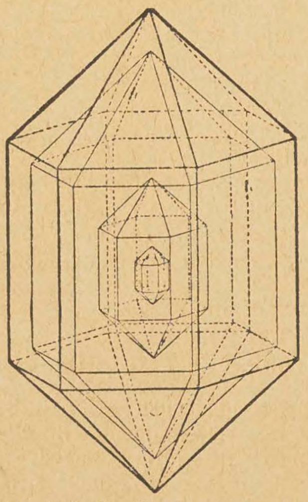


Abb. 14. Bergkristall. Wachstum durch Umschalung (nach F. Rinne)

daß parallel oder gleichlaufend zu den zuerst vorhandenen Flächen sich eine neue Schicht nach der anderen ablagert. An Bergkristallen ist diese Erscheinung oft sehr gut zu sehen (Abb. 14).

Über jeder Kristallfläche baut sich zuerst eine Pyramide auf, die sog. „Anwachspyramide.“ Sie ist aber nicht sichtbar, wenn der Kristall vollkommen gleichmäßig und ungestört wächst. Treten aber während des Wachsens Störungen ein, etwa durch Änderungen in der Zusammensetzung der Lösung oder durch Trübungen, so übertragen sich diese Verschiedenheiten auf die Schichten, die nunmehr auch trübe sind oder verschiedene Färbung aufweisen. Parallel zu

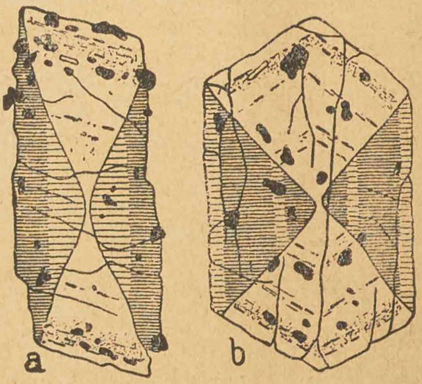


Abb. 15. Sanduhrformen von Augitkristallen (nach Reinisch)

gleichwertigen Flächen sind auch die Störungen gleich, parallel zu verschiedenen Flächen treten dagegen Unterschiede auf, wodurch die Anwachspyramiden überhaupt erst sichtbar werden.

Die Erscheinung ist gut zu sehen an ganz dünn geschliffenen Augitkristallen, wie man sie in den Basalten der Umgebung des Laacher Sees oder in den vulkanischen Aschen auch jetzt noch tätiger Vulkane findet. Abb. 15 zeigt solche „Sanduhrformen“.

Neunter Abschnitt. Die Ausbildungsweise der Kristalle

Je ungestörter sich die Kristalle während des Wachstums entwickeln konnten, um so regelmäßiger ist ihre Form. Bei einem solchen „idealen“ Kristall haben die gleichberechtigten Flächen sämtlich gleichen Abstand, gleiche „Zentraldistanz“ von einem in der Mitte des Kristalls

[1] Die Herstellung solcher Gesteinsdünnschliffe, wie sie in Abb. 7 und 13 wiedergegeben sind, geschieht folgendermaßen: Ein Gesteinssplitter von etwa 25 mm Länge, der gleichen Breite und höchstens 6—7 mm Dicke wird auf einer ebenen Gußeisenplatte mit einem harten Schleifmittel, am besten Carborundum, Körnung 60, unter Zuführung einiger Tropfen Wasser durch kreisende Bewegung der Hand einseitig eben geschliffen, sodann auf einer gleichfalls vollkommen ebenen Glasplatte zuerst mit feinstem Carborundum, Körnung 120, weiter geschliffen, schließlich auf einer zweiten Glasplatte mit feinstgeschlämmtem Schmirgelpulver poliert. Nach dem Aufkitten auf einen Objektträger von der Größe 28×48 mm mittelst Canadabalsams, dem Harze der canadischen Balsamfichte, erfolgt die Bearbeitung der anderen Seite des „Schleifstückes“ in gleicher Weise. Wenn das Plättchen etwa die Dicke von drei Hundertstel Millimeter hat, ist es zur Untersuchung im Mikroskop brauchbar. Es wird zum Schutz vor Verletzungen und der größeren Durchsichtigkeit halber mit Canadabalsam überzogen, der mit einem winzig dünnen Glasplättchen, dem Deckglas, bedeckt wird. Bei guter Übung kann man einen Schliff in einer Stunde fertiggestellt haben. Käuflich sind sie z. B. bei Dr. F. Krantz, Bonn, Herwarthstr. 36.

gedachten Keim- oder Ursprungspunkt. Ein solches Idealbild ist Abb. 16. Man sieht daran: alle gleichwertigen Flächen sind auch von gleicher Größe und Beschaffenheit. Man findet öfters Quarze, Granaten, Leuzite, Augite, Feldspate u. a. von tadellos regelmäßiger Form. Die Abb. 16 stellt dar die Verbindung (Kombination) einer sechsseitigen, hexagonalen (hexa = sechs, gone = der Winkel) Säule, oft an einer Streifung kenntlich, mit Pyramidenflächen oben und unten. Diese Ausbildungsweise ist kennzeichnend für die Quarzkristalle in Quarzporphyren, also Gesteinen, die in mächtigen Decken in der auf die Steinkohlenzeit nachfolgenden Rotliegendzeit sich über große Teile des Nahegebietes, des Thüringerwaldes, Sachsens und Schlesiens ergossen haben.

In Wirklichkeit entspricht die Begrenzung der Kristalle nur in seltenen Fällen diesem Ideal, in der Regel sind gleichwertige Flächen infolge

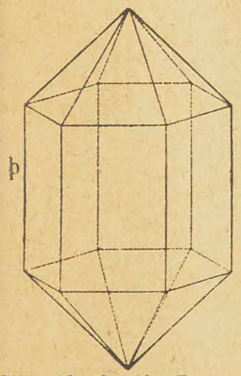


Abb. 16. Idealer Quarzkristall

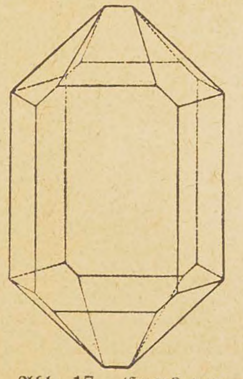


Abb. 17. Etwas verzerrter Quarzkristall nach F. Rinne

wechselnder Zentraldistanz ungleich groß, die Kristalle sind, wie man sagt, verzerrt (Abb. 17), ihre Form kann sogar sehr auffallend von der idealen Form abweichen. So stellt Abb. 18 einen stark verzerrten Quarzkristall dar. Obgleich die vertikalen, meist gestreiften Säulenflächen sehr ungleich entwickelt sind, sind doch alle gleichwertig, da sie, wie schon S. 12 betont wurde, 6 physikalisch gleichwertigen Richtungen entsprechen. Schon Agricola (1490—1555), dem Begründer der neueren Mineralogie und Metallhüttenkunde, waren solche Mißbildungen des Quarzes aufgefallen. Durch die Verzerrungen wird die Bestimmung der Kristalle häufig recht erschwert, so daß man im Altertum und Mittelalter niemals zu einer richtigen Kristallehre (Kristallographie) gelangte. Erst die fundamentale Entdeckung des dänischen Arztes Nicolaus Steno von der Unveränderlichkeit der Neigungswinkel zwischen den Kristallflächen (1669), worüber S. 19 berichtet wird, schaffte Licht in das mysteriöse Dunkel der Kristallwelt. Steno zeigte zuerst, daß keineswegs die Längen der Kristallkanten und die Größen der Begrenzungsflächen den Kristallen ihre eigentliche kristallographische Physiognomie, ihre Zugehörigkeit geben, sondern die feststehenden, konstanten Winkel der Flächen zueinander. Ob sich z. B. ein Olivinkristall (Abb. 19) in künstlichen Schlacken beim Eisenhüttenbetrieb oder in der Lava des Vesuvs oder auf Erzlagern Schwedens, in der Masse eines Meteorsteines, der aus fernem Weltenraum auf unsere Erde gelangte, findet, stets besitzen diese Olivinkristalle, die doch unter den verschiedensten Umständen gebildet wurden, winkelgleichen Flächenschmuck.

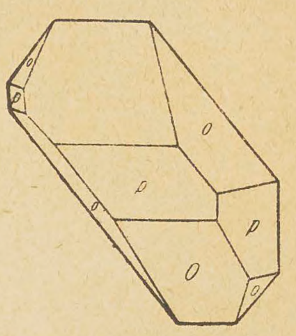


Abb. 18. Sehr stark verzerrter Quarzkristall

Die Verzerrung kommt dadurch zustande, daß den Kristallen während des Wachstums der Stoff nicht gleichmäßig von allen Seiten her zugeführt wird. An unseren Alaunkristallen (vgl. Abb. 12) können wir diese Erscheinung gut beobachten. Läßt man einen einzigen Kristall in der Mutterlauge etwa auf dem Boden einer flachen Schale weiterwachsen, so setzt er an den Seiten schneller Substanz an. Denn durch die Strömung, die dadurch einsetzt, daß er Alaunsubstanz aus der Mutterlauge entnimmt, wird ihm am Rande mehr Nahrung zugeführt. Er wird schließlich eine flache Tafelform annehmen. Sorgt man aber durch sinnreich eingerichtete Rührvorrichtungen, die Tag und Nacht laufen, dafür, daß der frei aufgehängte Kristall allseitig und gleichmäßig umspült wird, so wächst er auch regelmäßig. Man kann sich unter einfachen Verhältnissen auch so helfen, daß der Kristall mit einem Stäbchen — nicht mit den immer etwas fettigen Fingern — z. B. alle 6 Stunden auf eine andere Fläche gelegt wird.

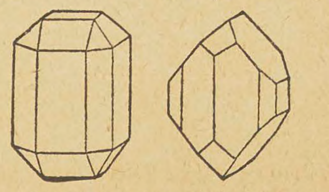


Abb. 19. Olivinkristalle

Meist sind bei den natürlichen Bildungen die auf einer Unterlage aufgewachsenen Kristalle verzerrt ausgebildet, während frei schwebend gebildete (vgl. Abb. 14, S. 12) oder solche, die in einer Tonlage stecken, oft ideale Entwicklung zeigen.

Man bezeichnet die auf Verschiedenheit in der Stoffzufuhr beruhenden Ausbildungsweisen als „Kristalltracht".

Wenn sich kleine, nicht parallele Kriställchen aneinanderreihen, dann entstehen sattelförmige oder garbenförmige Kristalle.

Recht eigenartig sind solche Ausbildungen, die man als „Kristallskelette" oder „-gerippe" bezeichnet. Das bekannteste Beispiel sind die Eisblumen am Fenster und die zierlichen Schneesterne (Abb. 20), deren ganze Schönheit allerdings erst unter dem Mikroskop sichtbar wird. Man erkennt, daß auch bei den mitten im Wachsen begriffenen Formen Symmetrie (symmetria = das Ebenmaß) herrscht. Zuerst bildet sich ein sechsstrahliger Achsenstern mit Fiederchen, der dann später gegebenenfalls mit Stoff ausgefüllt wird.

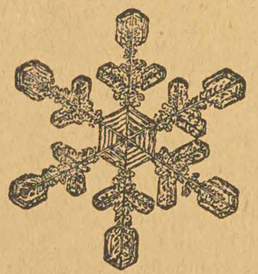


Abb. 20. Skelett eines Schneekristalls

Sehr leicht lassen sich bei vielen künstlichen Stoffen Skelette erzeugen, ganz prächtig z. B. sind die zierlich gestrickten Wachstumsformen, die erhalten werden beim Verdunsten einer wässerigen gesättigten Lösung von Salmiaksalz (wissenschaftlich Ammoniumchlorid genannt), wie es zum Füllen der Klingelelemente benutzt wird. Allerdings muß man zur Betrachtung ein Mikroskop (mikros = klein, skopein = sehen) zu Hilfe nehmen und die Verdunstung auf einem kleinen Glasplättchen, einem Objektträger, vor sich gehen lassen.

Ganz ähnliche Gebilde kommen auch unter den Mineralien in der Natur vor. Baumförmige, moos-, draht- und haarförmige Gerippe sind namentlich bei den Metallen Gold, Silber, Kupfer und Eisen an der Tagesordnung und bei anderen Mineralien wie Speiskobalt, Rotkupfererz, Bleiglanz, Eisenkies nichts Seltenes. Die alten Gruben zu Rheinbreitbach und die Matchleß-Mine in Damaraland, Südafrika, haben die zierlichsten Kristallisationserscheinungen des Mineralreiches an Rotkupfererz geliefert; mit wunderlichen Skeletten gediegenen Kupfers sind die Turginschen Gruben bei Bogoslowsk am nördlichen Ural und die unerschöpflich reichen Kupferbergwerke am Oberen See in Nordamerika in allen Sammlungen vertreten.

Diese Ausbildung tritt hauptsächlich bei den Substanzen auf, die die Neigung haben, bei rascher Verdunstung des Lösungsmittels oder bei rascher Abkühlung der gesättigten Lösung oder der gesättigten Schmelze oder endlich auch bei Sublimation in kurzer Zeit viel feste Substanz auszuscheiden. Die Folge davon ist eben eine unvollkommene Kristallisation, ein bevorzugtes Wachstum scharfer Elemente, also der Ecken und Kanten. Sie haben in der Tat, wie man sich leicht überzeugt, einen Vorzug vor den übrigen Bauelementen des Kristalles, nämlich den Kristallflächen, denn sie können aus ihrer Umgebung, ihrem Kristallisationshof, viel leichter ihr Baumaterial schöpfen.

Einige Beispiele, die einerseits unsern Scharfsinn anregen mögen, andererseits aus dem Erwerbsleben Bekanntes erläutern, seien hierzu noch angeführt.

Wir stellen uns eine bei etwa 60° gesättigte Lösung von Chlorkalium her. Chlorkalium ist ein naher Verwandter unseres Kochsalzes, des Chlornatriums, und bildet einen wichtigen Bestandteil unserer als Düngemittel verwendeten Kalisalze. Beim Abkühlen scheiden sich nicht etwa durchsichtige, den Raum stetig erfüllende Würfelchen ab, sondern Skelette, die sich erst bei weiterem sehr langsamen Wachstum zu vollkommenen Würfeln ergänzen. Man sieht daraus, wie der Kristall eigentlich gebaut ist.

Beim Eindampfen der Salzsole, dem „Salzsieden" bilden sich auf der Oberfläche der Lösung vierseitige Pyramiden, die wie die großen ägyptischen Pyramiden treppenförmig gebaut, aber innen hohl sind und mit der Spitze nach unten gekehrt schwimmen. Die Ecken und Kanten des Körpers wachsen zusehends, da sie in ihre Nährlösung am weitesten hineingreifen, die Flächen des Würfels bleiben ganz zurück.

Die photographischen Platten tragen einen Überzug von Gelatine, in der die lichtempfindlichen Bromsilberteilchen eingebettet liegen. In der frisch hergestellten Gelatinemasse müssen die Bromsilberteilchen zur Erzielung einer möglichst hohen Lichtempfindlichkeit erst einige Zeit „reifen". Dabei schließen sich die ursprünglich kleinsten Teilchen zu größeren Körnchen zusammen, sie wandern in dem zähen Gelatineteig. Eine weitere Vergrößerung der Körnchen setzt ihre Lichtempfindlichkeit wieder herab. Man muß also die Vereinigung zu Kristallhäufchen oder -aggregaten (aggregare = anhäufen) rechtzeitig unterbrechen und die Masse auf die Glasplatten aufgießen.

Abb. 21 zeigt, wie nur die Kanten und Achsenrichtungen eines mikroskopisch kleinen Leuzitkristalles ausgebildet sind; in den Zwischenräumen sitzt basaltisches Gesteinsglas, also nicht zur Kristallisation gelangtes Basaltgestein.

Eine Fülle ähnlicher Erscheinungen wird durch das mikroskopische Studium der aus dem Schmelzfluß erstarrten Gesteine aufgedeckt, besonders derjenigen, die, aus dem Erdinnern emporgedrungen, sich rasch abgekühlt haben und dabei wesentlich glasig erstarrt sind (Eruptivgesteine; erumpere = hervorbrechen). Es hat also eine überhastete Kristallisation stattgefunden, bei der sich vor allem „Mikrolithen" (mikros = klein, lithos = der Stein), das sind also in der Größe

stark zurückgebliebene, mikroskopische kleine Kriställchen in Form von Härchen, Kügelchen, knochenförmigen Stäbchen, perlschnurartig aneinandergereihten Körperchen, gebildet haben. Alle blieben in einem unvollkommenen Stadium der Entwicklung stecken. Meist kann man ihre wahre Natur und ihre Zugehörigkeit wegen ihrer Kleinheit und der Unmöglichkeit, sie aus ihrer festen Umgebung herauszuholen, gar nicht ermitteln. Man findet solche Kristallembryonen (embryon = die ungeborene Frucht im Mutterleib) oft in Obsidianen, Pechsteinen (Abb. 22) und anderen natürlichen Gläsern, aus denen Naturvölker ihre Speerspitzen, haarscharfe Messer und Schaber herstellen.

Es scheint, als ob an den winzig kleinen Körpern sich gerade wegen dieser Kleinheit die Oberflächenkräfte, die z. B. jedem Quecksilbertropfen Kugelgestalt geben, jeden Öltropfen auf Wasser zusammenhalten, mehr und mehr geltend machen, während die inneren, dem Stoffe die Form gebenden Kristallisationskräfte nur schwach sind, so daß ein Unterschied in der Richtung praktisch nicht mehr besteht.

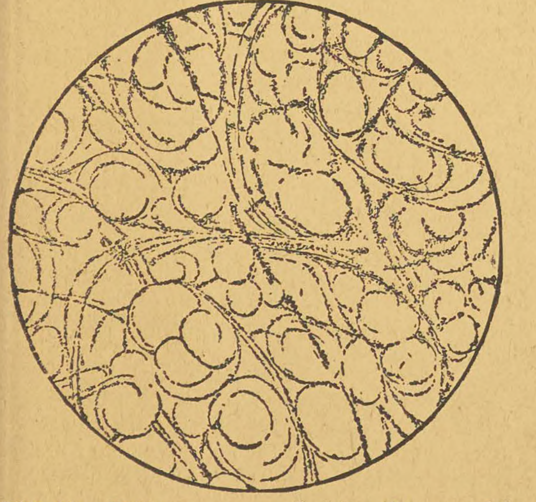


Abb. 22. Pechstein von den Corbitzer Schanzen bei Meißen a. d. E. Zwiebelschalenartig sich umhüllende Sprünge. Von ihnen aus verwandelt sich das Pechsteinglas in ein trüb erscheinendes Mineralhaufwerk. Vergrößerung 15×

Es kommt eben zur Annäherung an die Kugelgestalt der Flüssigkeiten, wie jeder schwere Öltropfen, der im Wasser schwebt, zeigt.

Eine Zwischenstufe zwischen den festen Kristallen und den amorphen Flüssigkeiten bilden die von dem Karlsruher Physiker O. Lehmann 1895 entdeckten und eingehend untersuchten „flüssigen Kristalle". Mit mehr Recht nennt man sie neuerdings „kristalline Flüssigkeiten" oder in der Bezeichnung des Leipziger Mineralogen F. Rinne „Fastkristalle", da sich ihre kleinsten Bauteilchen hauptsächlich in einer Richtung parallel stellen, während ein Kristall, wie wir später kennen lernen werden, aus Feinbauteilchen aufgebaut ist, die nach drei Richtungen im Raume zueinander parallel gestellt sind. Abb. 23 gibt

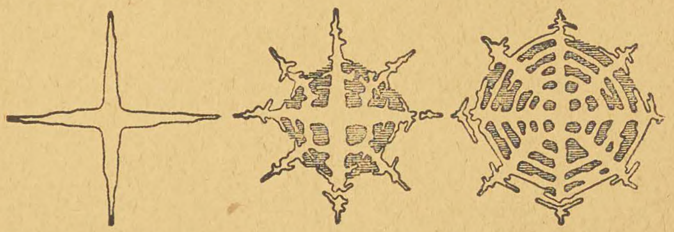


Abb. 21. Skelette von Leuzitkristallen aus glasreichem Basalt vom Gaußberge im antarktischen Kaiser-Wilhelms-Land

wenigstens eine Vorstellung davon, wie solche Fastkristalle unter dem Mikroskop in besonderem, sog. polarisiertem Lichte (siehe S. 31) aussehen.

Es ist bemerkenswert, daß in der Natur die Hauptmasse des kristallinen Materials überhaupt keine kristallographische Flächenbegrenzung hat. Abgesehen von den Vorkommen, wo die Kristalle aufgewachsen an den Wänden von Klüften und Hohlräumen oder Drusen der Gesteine oder

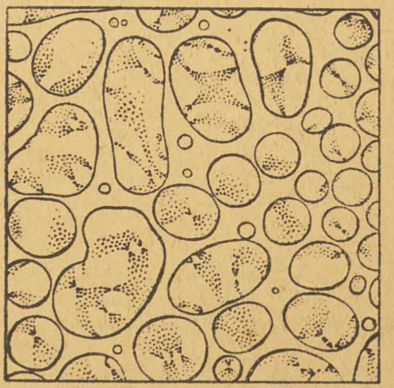


Abb. 23. „Flüssige Kristalle" im polarisierten Lichte (nach O. Lehmann)

schwebend gebildet wurden (wie der den Borax liefernde Borazit in Salz oder wie der Granat in Glimmerschiefer) zeigt die petrographische Gesteinsuntersuchung, daß die kristallinen Gemengteile der Gesteine in diesen meist in Körnerform gewachsen sind. Diese Form ist sozusagen ein Kompromiß zwischen der Neigung, sich mit ebenen Flächen zu ornamentieren und der gegenseitigen Hemmung der Individuen beim Wachs-

tum. Auch im Mineralreiche der Natur gilt das gleiche wie im menschlichen Leben: jeder muß sich im Interesse des Ganzen Einschränkungen in seiner Handlungsfreiheit gefallen lassen. Innerhalb der von ihm von der Gemeinschaft gegebenen Grenzen kann er sich dann bewegen und ausdehnen

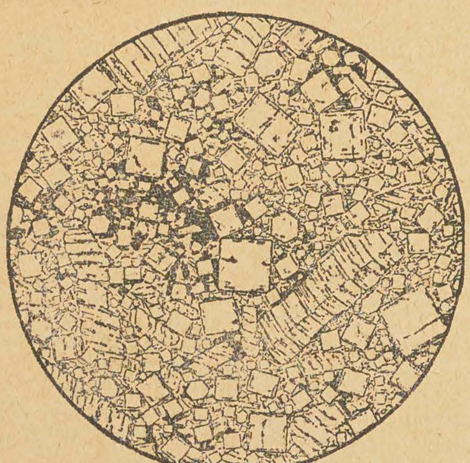


Abb. 24 Nephelinphonolith von Brüx in Böhmen. Helle Quadrate: Nephelin. Helle Säulen: Feldspat. Dunkle Füllmasse: Ägirin. Vergrößerung 40×

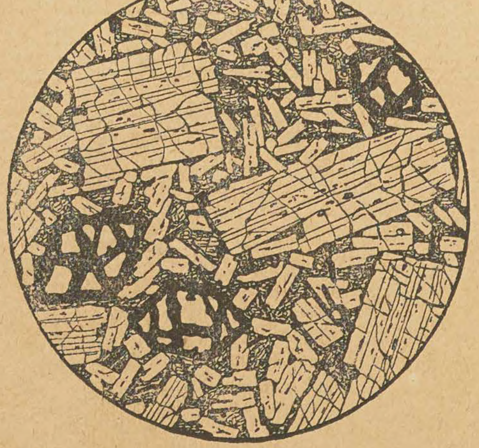


Abb. 25. Melaphyr von Heisterbach, Nahegebiet. Große helle Kristalle: Feldspate. 3 große dunkel umrandete: Olivine. Rest: Grundmasse aus kurzrechteckigen hellen Feldspaten und dunklen Augiten. Vergrößerung 20×

und ausbilden, soviel er kann und will. So muß auch jedes Mineralindividuum mit seinem Platz, so gut es geht, auskommen. Ein wesentliches Moment hierbei ist natürlich die Reihenfolge der Ausscheidungen, die ein natürlicher Schmelzfluß von komplizierter chemischer Zusammensetzung erlitt. Die „erstgeborenen" Individuen hatten genügend Raum zur wohlentwickelten kristallographischen Ausbildung, am schlechtesten gestellt sind die zuletzt sich bildenden Mineralien. In einem granitischen Magma (vgl. das Dünnschliffbild von Granit, S. 11) erscheinen die Erze als Erstausscheidungen und haben deshalb regelmäßige Begrenzung; der Quarz als zuletzt ausgeschiedener dient als Füllmasse. Noch auffälliger tritt diese Erscheinung zutage bei den Oberflächen- oder vulkanischen Gesteinen, deren Erstarrung viel rascher erfolgte als beim Granit, einem in der Tiefe der Erde erstarrten Gestein. Bei den vulkanischen Gesteinen bilden die Erstausscheidungen, die schon in der Tiefe oder beim Empordringen des Schmelzflusses gebildet wurden, kristallographische Begrenzung aus, während

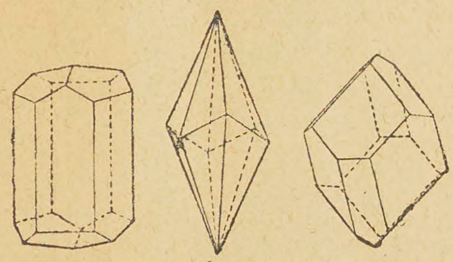


Abb. 26. Zweiglimmergneis, Nollendorfer Höhe, Erzgebirge. Hellpunktiert: Quarz und Feldspat. Dunkel gestreift: dunkler Glimmer = Biotit. Hell gestreift: heller Glimmer = Muskovit (weniger vorhanden). Vergrößerung 20×

alles übrige bei der plötzlichen Erstarrung nur als feinkörnige „Grundmasse" ohne kristallographische Form existiert. Man nennt dieses Gefüge porphyrisch, siehe Abb. 24 u. 25, die Dünnschliffbilder eines Phonolithes oder Klingsteines und eines Melaphyrs.

Bei manchen kristallinen Gesteinen, z. B. denen des zentralen Teiles der Alpen oder des Erzgebirges, also gewissen Gneisen (Abb. 26) und vor allem den Glimmerschiefern mit ihren zahllosen Abarten und Verwandten fehlt eine Ausscheidungsfolge. Hier macht sich die gegenseitige Behinderung bei der gleichzeitigen Bildung aller Mineralien in besonderem Maße geltend. Alle wuchsen — hinsichtlich ihrer Kristallgestalt schon von vornherein mangelhaft ausgebildet — sich gegenseitig umfassend und auch wohl durch-

dringend im Kampfe ums Dasein, wie der 20fach vergrößerte Dünnschliff des Zweiglimmergneises deutlich zeigt. Manche Kristalle haben allerdings durch ihre besonders ausgeprägte Kristallisationsfähigkeit auch hier eine gute Ausbildung nach dem Rechte der Stärkeren erfahren. Bekannt sind die böhmischen Granaten, auch Pyropen (pyr = das Feuer, opsesthai = sehen;



a b c

Abb. 27. Kalkspatkristalle

also der Feuerfarbige) genannt. Sie sind in Glimmerschiefern, besonders auch der Alpen, gebildet und wittern leicht aus ihrem Muttergestein heraus.

Eine andere für die Erforschung der Mineralien ungemein wichtige Erscheinung ist die Formenmannigfaltigkeit, in denen sich die einzelnen Mineralien dem Beschauer zeigen. Ein und dasselbe Mineral kann in den verschiedensten Formenvereinigungen auftreten, wie Abb. 27 für den Kalkspat erläutert. Durch seine mannigfachen äußeren Wandlungen entpuppt er sich als ein wahrer Proteus (ein Meergott der griechischen Sage, der dauernd seine Gestalt wechselt). Diese wechselnde Gestalt der Kristalle allgemein ist auch der Grund, weshalb die Gelehrten des Altertums und des Mittelalters nicht zu einer Erkenntnis des eigentlichen Wesens der Kristalle kamen.

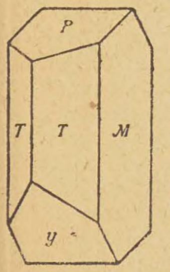


Abb. 28. Feldspatkristall

Nun darf aber keineswegs angenommen werden, daß diese wechselnden Formen ohne einen inneren Zusammenhang sind, aus allen tritt vielmehr hervor, daß sie um eine bestimmte Richtung dreifach oder gar sechsfach rhythmisch (rhythmos = das Ebenmaß) gebaut erscheinen, und bei näherem Zusehen tauchen weitere eigenartige Symmetrieelemente (symmetria = das Ebenmaß, elementum = der Grundstoff; also übersetzt: etwa Bausteine für das Ebenmaß) auf, die in einem späteren Abschnitt besprochen werden. Entsprechende Erscheinungen zeigen sich bei vielen anderen Mineralien, z. B. bei den Feldspaten (Abb. 28). Die Feldspate haben deshalb ein besonderes Interesse für uns, weil sie (vgl. Abb. 13, 24, 25 u. 26) bei der Verwitterung den wertvollsten Teil des Ackerbodens, den Lehm, ergeben.

Man hat die verschiedene Ausbildungsweise der Kristalle ihren „Habitus" genannt (habitus = der Zustand). Auch in anderen Wissenschaftsgebieten spricht man von einem Habitus, z. B. kann ein und dieselbe Pflanze je nachdem sie in gemäßigtem oder kälterem Klima wächst, hinsichtlich Größe, Farbenpracht der Blüte oder Form der Blätter erhebliche Abweichungen zeigen, das gleiche gilt im Tierreich, den Menschen eingeschlossen. Der Habitus der Mineralien ist oft von der örtlichen Verschiedenheit der Vorkommen abhängig, so daß für den Mineralogen manche Habitusbilder für gewisse Fundorte direkt typisch sind. Dies ist zugleich der Schlüssel zur Lösung der Frage: Woher diese Wechselgestalt? Es sind die örtlich verschiedenen Verhältnisse (Temperatur, Druck, Zusammensetzung und Menge der gelösten Stoffe), die während der Kristallbildung geherrscht und ihren Einfluß in gesetzmäßiger Weise geltend gemacht haben. Unmengen von Erfahrungstatsachen beweisen, daß unter gleichen Bildungsbedingungen das Mineral auch in der gleichen Ausbildungsweise erscheint, gleichgültig, ob der Vorgang sich in Nordamerika, auf den Inseln um den Südpol, in Zentraleuropa oder im Ural abgespielt hat. Daher ist das Verfolgen der verschiedenen

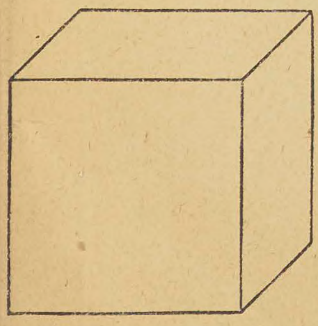


Abb. 29. Würfel

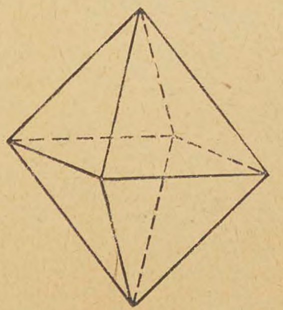


Abb. 30. Oktaeder

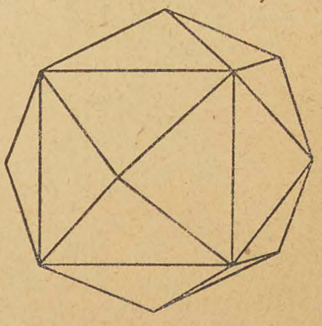


Abb. 31. Würfel, auf dessen 6 Flächen je eine vierseitige Pyramide aufgesetzt ist: Pyramidenwürfel

Formenentwicklungen besonders interessant und aufschlußreich. Schon an ein und demselben Vorkommen ergibt eine sorgfältige Prüfung nicht selten, daß gewisse Abnormitäten, Abweichungen von dem Gewöhnlichen mit der Anwesenheit ganz bestimmter anderer Mineralien verbunden sind. Wohldurchdachte Versuche im Laboratorium haben in neuerer Zeit den besonderen Einfluß dieser Stoffe, der sog. „Lösungsgenossen" ins rechte Licht gesetzt. So kristallisiert Steinsalz aus reiner wäßriger Lösung ausschließlich in Würfelform (Abb. 29). Setzt man Harnstoff zu, so bilden sich Oktaeder oder Achtflächner (Abb. 30), bei Glykokollzusatz (Leimsüß) dagegen Pyramidenwürfel (Abb. 31). Der Tharandter Mineraloge Heinr. Vater zeigte am Kalkspat, daß sich nur aus reiner Lösung Rhomboeder (Abb. 32) bilden.[1] Viele andere Versuche haben zu der Erkenntnis geführt, daß die Beeinflussung des Habitus durch die Lösungsgenossen dann besonders groß ist, wenn die Stoffe, z. B. Farbstoffe, von dem Kristall auf seiner Oberfläche festgehalten, adsorbiert (ad = heran, sorbere = saugen) werden. Diese Versuche rücken gerade jetzt wieder in den Vordergrund des Interesses, wo man die Lösung der Frage, wie die Kristalle in ihrem Innern nun eigentlich aufgebaut sind mit Erfolg, zu lösen begonnen hat.

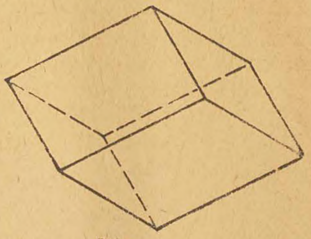


Abb. 32. Kalkspat-Rhomboeder

Zehnter Abschnitt. Maßlehre (Geometrie) der Kristalle

1. Flächen. Die Flächen sind an den Kristallen nach bestimmten Gesetzen geordnet. Die Feststellung dieser Gesetze ist eine Aufgabe der Kristallographie und zwar der geometrischen Kristallographie. Die Flächen, welche die Kristalle begrenzen, haben verschiedenes Aussehen. Oft sind sie eben und glänzend wie ein Spiegel, oft aber rauh, matt, gestreift, manchmal gekrümmt, gebogen mit Vertiefungen oder Erhabenheiten versehen (vgl. Abb. 33). Diejenigen Flächen eines Kristalls, die gleichwertigen Richtungen entsprechen, also z. B. am Würfel die Würfelflächen, und daher auch physikalisch gleiche Beschaffenheit haben, also z. B. sich gleich gut ritzen lassen oder bei der Einwirkung einer Säure gleiche Mengen von Gas entwickeln (vgl. Abb. 6), nennt man gleichwertige Flächen. In Abbildungen und Modellen gibt man ihnen gleiche Größe und Umrisse. In der Natur ist Umriß und Größe meist verschieden infolge Verzerrung der Kristallflächen. Die physikalische Gleichheit äußert sich weiterhin darin, daß ein Kristall oft nach mehreren Flächen sich gleich gut spalten läßt, z. B. Steinsalz nach den drei aufeinander senkrechten Würfelflächen (Abb. 3), Flußspat nach den acht Flächen des Oktaeders (Abb. 30) in gleicher Vollkommenheit. Nach den glänzenden Würfelflächen dagegen läßt sich der Flußspat nicht spalten, sie sind physikalisch (und damit auch geometrisch) verschieden. Auch die chemischen Eigenschaften der gleichwertigen Flächen sind die gleichen, wie man aus Ätzfiguren und Lösungsfiguren ersehen kann (Abb. 34). Wenn alle an einem Kristall vorhandenen Flächen gleichwertig sind, so heißt die Form eine einfache Kristallform. Eine solche ist z. B. der Würfel, wie er beim Steinsalz, dem gelben Eisenkies oder Flußspat auftritt; das Oktaeder

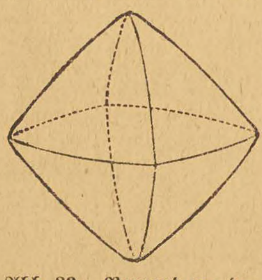


Abb. 33. Verrundung der Kanten und Flächen eines Oktaeders vom Diamant (Südafrika).

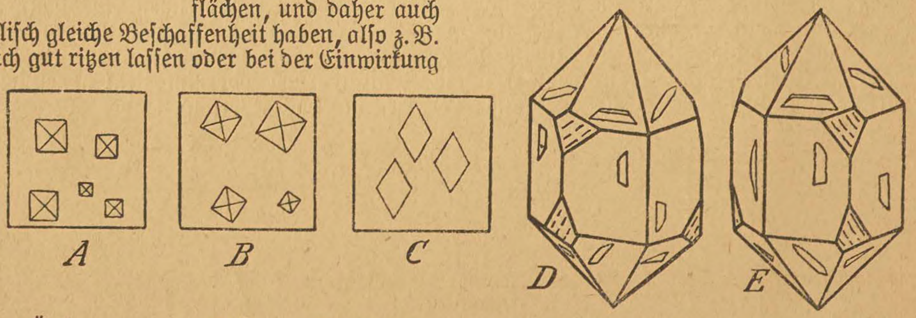


Abb. 34. Ätzfiguren an verschiedenen Mineralien: A Steinsalz mit Wasserdampf behandelt, B Sylvin desgleichen, C Schwefelkies mit Königswasser, D u. E Bergkristalle mit Flußsäure

[1]) Wunderbar große und — wie Glas — klar durchsichtige Kalkspatrhomboeder hat die Insel Island aus ihren „Kristallkellern" geliefert. Unter dem Namen Isländischer Doppelspat sind sie zur Herstellung wichtiger optischer Instrumente (vgl. S. 31) unentbehrlich.

von Magneteisen (Magnetit), Alaun, Flußspat; das Rhombendodekaeder von Granat (Abb. 35); das Rhomboeder von Kalkspat (Abb. 32). Eine Kristallform, die von ungleichwertigen Flächen begrenzt ist, nennt man eine **Kombination** (**Vereinigung**). Ihre Flächen gehören mehreren einfachen Kristallformen an. Z. B. stellt Abb. 36 eine Kombination von Würfel mit Oktaeder und

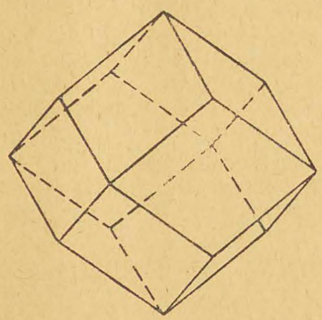
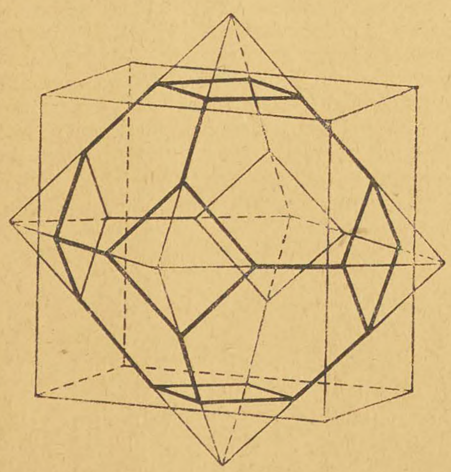
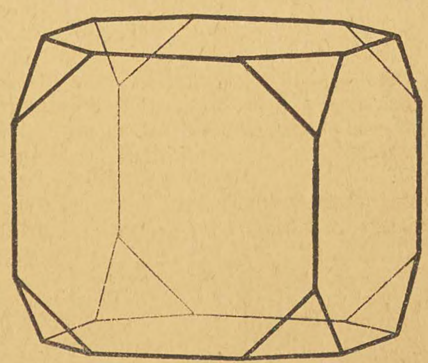


Abb. 35. Rhombenzwölfflächner, Rhombendodekaeder oder Granatoeder

Rhombendodekaeder, die für Bleiglanz typisch ist, vor, Abb. 37 die Vereinigung von Pyramide (o) mit Prisma (p) am Zinnstein. Abb. 27a gibt Kombinationen vom Rhomboeder mit Prisma am Kalkspat an. Die bei einer Kombination



a



b

Abb. 38. Kombination von Würfel und Achtflächner; a: beide Formen im Gleichgewicht; b: der Würfel dominiert

vorherrschende oder dominierende (dominus = der Herr) Form heißt „der Träger der Kombination". Z. B. in Abb. 38b der Würfel, in Abb. 36 das Oktaeder, in Abb. 2 das hexagonale Prisma oder die sechsseitige Säule. Oftmals lassen sich die neu hinzutretenden Flächen als Abstumpfungen oder Zuschärfungen von Ecken oder Kanten auffassen, z. B. in Abb. 38b kann das Oktaeder als Abstumpfung der Würfelecken angesehen werden.

2. **Winkel.** Zwei benachbarte Kristallflächen schneiden sich in einer Kante und schließen einen Winkel ein. Durch die Messung dieses Winkels und fortschreitend von einer Fläche zur anderen hat man seit Beginn der geometrischen Kristallo-

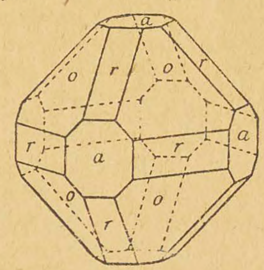


Abb. 36. Vereinigung von Würfel (a) mit Oktaeder (o) und Rhombendekaeder (r) am Bleiglanz

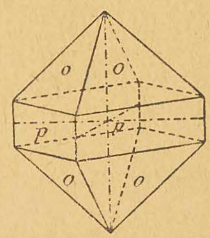


Abb. 37. Vereinigung von Pyramide (o) und Prisma (p) am Zinnstein

graphie bis heute die Flächen der Kristalle festgelegt. Die erste Frucht dieser Methode war das „**Gesetz von der Konstanz der Neigungswinkel**", das der Däne Nikolaus Steno 1669 entdeckte an Kristallen von Quarz, Eisenglanz und Schwefelkies. Es besagt: Sämtlichen Individuen einer bestimmten Kristallart kommen ganz bestimmte gleiche Neigungen ihrer Kristallflächen zu, wenn auch die Entfernung der einzelnen Flächen vom Mittelpunkte des Kristalls, also die „Zentraldistanz" und der Umriß derselben noch so sehr verschieden ist. Alle Bergkristalle z. B. weisen zwischen den Flächen p des Prismas jeweils 120° auf, zwischen p und r der Pyramide jeweils 141° 47'; zwischen r und r jeweils

133° 44′ (Abb. 16). Nehmen wir dagegen ein Kalkspatrhomboeder (Spaltstück Abb. 32) und messen wir den Winkel, den zwei Flächen miteinander bilden, so finden wir 105° 5′. An jedem anderen Spaltungsstück finden wir denselben Winkel. An anderen Mineralien treffen wir diesen Winkel nicht. Der dem Kalkspat zum Verwechseln ähnliche Dolomit, der mit einer unendlichen Zahl seiner Kriställchen die steilen Felsen der Dolomiten der Alpen aufbaut, läßt sich ebenso nach den Flächen des Rhomboeders spalten, hat aber Winkel von 106° 15′ zwischen den Spaltflächen. So sind die Winkel ein wichtiges Mittel zur Unterscheidung der Mineralien. Die Winkelmessung bildet die Grundlage der rechnenden Kristallographie.

Von Wichtigkeit ist die Bezeichnung der Winkel zwischen zwei Flächen F_1 und F_2, siehe Abb. 39. Der Winkel α ($\measuredangle\ \alpha$) ist der Innenwinkel oder der sog. Euklidische Winkel (Euklid, berühmter griechischer Mathematiker und Physiker um 300 v. Chr. in Alexandrien), der früher ausschließlich gemessen und angegeben wurde, weil er mit dem an die zu bestimmenden Flächen angelegten Winkelmesser, dem Anlegegoniometer, leicht ermittelt wurde (Abb. 40). In neuerer Zeit wird hauptsächlich durch Anwendung der Reflexionsgoniometer (reflectere = zurückwerfen, gonia = der Winkel), wie es in Abb. 41 dargestellt ist, zur Festlegung der Flächen der sog. „Normalenwinkel" benutzt, d. i. der Winkel β_1, den die auf die Kristallflächen gefällten Lote oder Normalen (norma = die Richtschnur) miteinander bilden. Aus der Abbildung, welche die Fläche F_1 und F_2 im Querschnitte darstellt, geht hervor, daß $\measuredangle\ \beta_1$ die Ergänzung des $\measuredangle\ \alpha$ zu 180° ist, also $\measuredangle\ \beta_1 = 180° - \measuredangle\ \alpha$. Durch Benutzung der Flächenlote wird der Richtungssinn der Kristallfläche, die Richtung, nach der die Kristallfläche wachsen will, anschaulich gemacht. Der Normalenwinkel zweier Flächen des Kalkspatrhomboeders beträgt somit 74° 55′, derjenige am Dolomit 73° 45′.

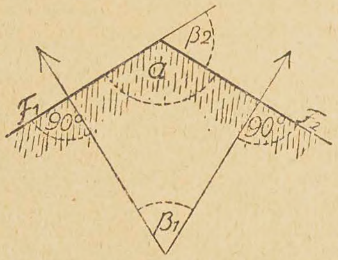


Abb. 39. $\measuredangle\ \alpha$ Euklidischer oder Flächenwinkel; $\measuredangle\ \beta_1$ Normalenwinkel

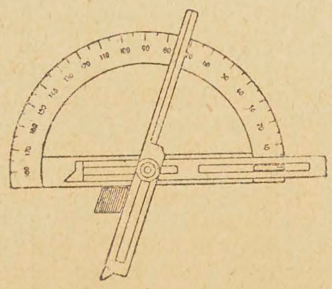


Abb. 40. Anlegegoniometer

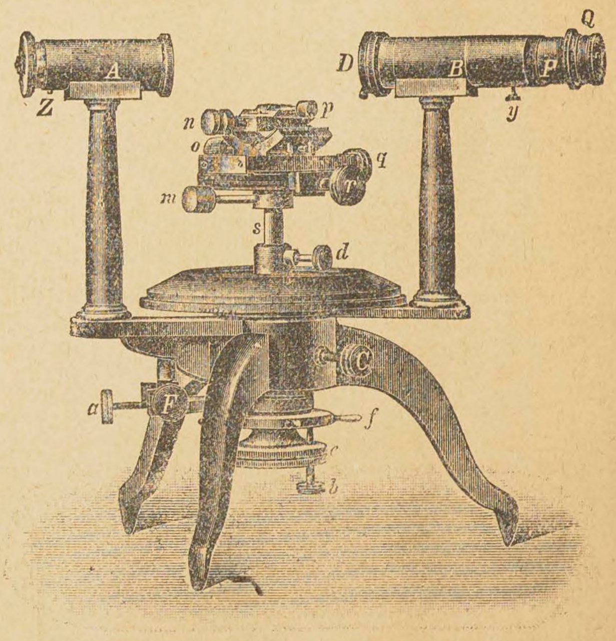


Abb. 41. Reflexionsgoniometer (nach Fueß)

3. **Winkelmessung.** Der einfachste Apparat zur Winkelmessung (Goniometer) ist das von Carangeot 1783 erfundene Anlegegoniometer (Abb. 40). Es besteht aus einem in Grade geteilten Halbkreis, dessen Enden durch einen festen Durchmesser verbunden sind. In der Mitte sind zwei Schenkel von der gezeichneten Form um einen festen Zapfen drehbar aufgelegt. Soll ein Winkel gemessen werden, so legt man die beiden Kristallflächen möglichst glatt zwischen die beiden Schenkel und liest dann den Winkel auf dem Halbkreis ab. Man kann zugleich den Innenwinkel wie den Normalenwinkel bis auf rd. $^1/_2$° genau ablesen. So mißt man z. B. an einem Oktaeder von Alaun, das wir nach der Anleitung auf S. 11 selbst gezüchtet haben, den Winkel von $109^1/_2$° zwischen zwei benachbarten Flächen usw.

Weit genauer läßt sich mit Reflexionsgoniometern arbeiten, die besonders von der optischen Werkstätte R. Fueß, Berlin-Steglitz hergestellt werden (Abb. 41). Die Wirkungsweise eines solchen Instrumentes erläutert in schematischer Weise die Abb. 42. a und b seien die Flächen des gestrichelt gezeichneten Kristalls, der inmitten des in Grade geteilten Kreises T auf der Ebene des Papiers senkrecht steht. Von links oben her kommt durch das Rohr F ein Lichtsignal, wie es daneben gezeichnet ist. Dieses Lichtsignal spiegelt sich auf der Fläche a und geht weiter in das Fernrohr F schräg rechts oben, wo es entsprechend dem Bilde rechts daneben beobachtet wird. Sodann dreht man den Kristall um die Kante, in der sich die Flächen a und b schneiden, so lange, bis das neue Bild durch die Fläche b erscheint. Die Drehung wird auf dem Teilkreise T abgelesen und ergibt den Winkel α. Dieser

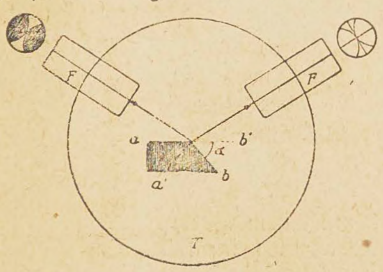


Abb. 42. Schema des Reflexionsgoniometers (von oben gesehen) (nach F. Rinne)

ergänzt, wie die Abbildung zeigt, den Winkel zwischen den Flächen a und b zu 180°, ist also dem Winkel β_1, der Abb. 39 entsprechend, der Normalenwinkel.

Abb. 41 zeigt, wie ein solches Reflexgoniometer in einfacher Form ausgeführt ist. A ist der Kollimator, B das Beobachtungsfernrohr. Der Kristall wird aufgekittet und dann durch Ausprobieren, nämlich durch Bewegungen an den Stellschrauben r und q der beiden horizontalen Schlitten und an den Stellschrauben n und o der beiden in kreisförmigen Bahnen sich bewegenden Schlitten, genau zentriert. Neuerdings benutzt man zu vielen Untersuchungen zweckmäßig nach dem Vorschlage von V. Goldschmidt ein Goniometer mit zwei Teilkreisen, einem horizontalen und einem vertikalen. An einem solchen „Theodolithgoniometer“ werden die Flächen wie die Sterne am Himmel durch Azimut und Polardistanz oder wie ein Ort auf Erden durch geographische Länge und Breite festgelegt. Die Genauigkeit solcher moderner Winkelmeßinstrumente ist außerordentlich groß (rd. 1—2 Bogensekunden).

3. Kanten. Außer den Flächen sind die Kanten kristallographische Bauelemente. Wenn, wie später gezeigt werden wird, die Flächen des Kristalls in Wirklichkeit mit Atomen dicht besetzte Ebenen sind, so sind die Kanten mit Atomen besetzte gerade Linien. Alle Gesetzmäßigkeiten in der Lage der Kristallflächen treten auch in der Richtung ihrer Kanten zutage. Die Kristallkanten entsprechen ausgezeichneten Richtungen im Kristallgebäude. Drei Kristallkanten, die nicht zufällig in einer Ebene liegen, bieten sich als ein von der Natur gegebenes Achsenkreuz oder, wie man auch sagt, Koordinatensystem an. Auf diese drei Achsen können die Flächen der Kristalle bezogen werden. Drei solche passend gewählte Kanten nennt man „Kristallachsen“. Sie bilden ein „Achsenkreuz“. Dieses Achsenkreuz denkt man sich parallel ins Innere des Kristalles hineingestellt, so daß der Nullpunkt des Achsenkreuzes, in dem sich also die drei Achsen schneiden, mit dem Kristallmittelpunkte zusammenfällt.

Zur Erläuterung der Kristallachsen diene der Feldspatkristall in Abb. 28. An ihm sind die Flächen P, M, T und y vertreten. Als Achsen wählt man nun die Kante zwischen P und M und bezeichnet sie mit a, die Kante zwischen P und y und bezeichnet sie mit b (es ist also die wagerecht verlaufende oberhalb des Buchstabens P) und schließlich diejenige zwischen T und M und bezeichnet sie mit c. Der Übersichtlichkeit halber ziehe man sie in der Abbildung mit Rotstift nach und versehe sie mit den Buchstaben a b c.

Die Achsen sind je nach dem Ebenmaß oder der Symmetrie der Kristalle entweder alle oder nur teilweise einander gleich. Gleiche Achsen bezeichnet man mit gleichen Buchstaben, ungleiche mit verschiedenen (a, b, c).

Die Achsen schneiden sich ferner unter rechten oder schiefen Winkeln. Man bezeichnet diese mit dem griechischen Buchstaben α (Alpha), β (Beta) und γ (Gamma).

Bei obigem Feldspatkristall sind alle drei Achsen ungleichwertig. Die Achsen b und a sowie b und c schneiden sich unter rechten Winkeln. Dagegen sind a und c unter dem stumpfen Winkel β gegeneinander geneigt.

4. Kennzeichnung der Flächenlage. Achsenabschnitte. Alle an einem Kristall überhaupt auftretenden Flächen lassen sich in drei Arten teilen, so daß sie entweder selbst oder mit ihrer gedachten Verlängerung

1. alle drei Achsen schneiden,
2. nur zwei Achsen schneiden und einer parallel gehen,
3. nur eine Achse schneiden und zu den beiden anderen parallel laufen.

Zur näheren Bestimmung der Lage der Kristallflächen muß angegeben werden, wie sie die angenommenen Achsen a, b, c schneiden. Es kommt hierbei nicht auf die absolute Länge der Achsenabschnitte, also auf die Länge ausgedrückt in Zentimetern oder Millimetern an,

denn beim wachsenden Kristall ändert sie sich ja fortwährend, sondern es kommt an auf das Verhältnis der Achsenabschnitte zueinander.

Um das Einheitsverhältnis (Grundverhältnis oder Achsenverhältnis) der Achsen a : b : c zu finden, muß man eine passende Kristallfläche, die alle drei Achsen schneidet, als Einheitsfläche wählen. Als solche nimmt man eine Kristallfläche, die an dem betreffenden Mineral besonders häufig ist und durch gute Flächenbeschaffenheit genaue Winkelmessung gestattet.

In Abb. 43 sei die Fläche D mit den Achsenabschnitten a b c die Stammfläche. Man sagt also: das Verhältnis der Abschnitte ist 1a : 1b : 1c oder a : b : c. Jede weitere neue Ebene kann nunmehr auf das Grundmaß durch

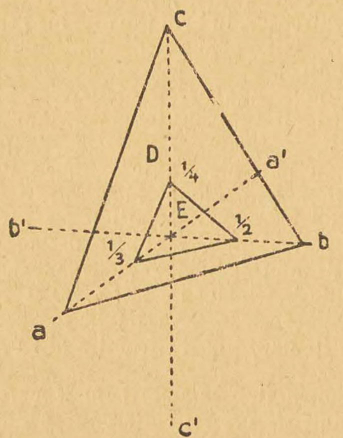


Abb. 43. Achsenschnitte von Kristallflächen

Angabe der Achsenabschnitte — also im vorstehenden Falle (Abb. 43) für die Fläche E durch $^1/_3$ a: $^1/_2$b : $^1/_4$c — bezogen werden. Ganz allgemein würde diese Formel für eine beliebige andere Fläche als D lauten: ma : nb : pc. Dabei bedeuten die Buchstaben m, n und p ganze Zahlen, unechte oder echte Brüche, also beispielsweise 2, $^3/_2$ oder $^1/_5$. Man mißt hier auf jeder Achse sozusagen mit einem besonderen Maßstab, aber nicht in Zentimetern.

Geht eine Fläche einer Achse parallel, so schneidet sie die letztere im Unendlichen, ihr Abschnittsverhältnis ist z. B. für den Fall, daß sie der c-Achse parallel geht, ma : nb : ∞c (lies unendlich c). Geht die Fläche zwei Achsen parallel, so bekommen diese beiden Achsen das Zeichen für unendlich (∞). Eine Fläche, die a und c parallel geht, hat daher das Abschnitts- oder Parametarverhältnis ∞a : b : ∞c.

Diese Art, die Lagen der Flächen zu den Achsen durch ihr Achsenabschnittsverhältnis anzugeben, stammt von dem berühmten Kristallographen Christian Samuel Weiß und ist schon seit fast hundert Jahren wegen ihrer Anschaulichkeit auch noch jetzt üblich. Man nennt deshalb auch das Achsenabschnittsverhältnis das „Weißsche Symbol". Es ist erkennbar, wie außerordentlich vorteilhaft eine solche abgekürzte Sprache in der Wissenschaft ist. Sie ist über den ganzen Erdball verbreitet und auch in den Lehrbüchern der höheren Schulen in ihren Grundzügen eingeführt.

Eine andere Art der Flächenbezeichnung, die heute die fast allgemein übliche ist, rührt von W. H. Miller (1839) her. Bei ihr werden die Flächen durch drei Zahlen, die in der allgemeinsten Form h, k, l genannt werden, festgelegt. Sie heißen Indizes. Von ihnen bezieht sich die Zahl h auf die a-Achse, k auf die b-Achse und l auf die c-Achse. Diese Reihenfolge muß stets eingehalten werden. Wie werden die Zahlen h, k, l gefunden? Bedeuten m, n, p die Achsenabschnitte nach Weiß, so sind $h = \frac{1}{m}$, $k = \frac{1}{n}$ und $l = \frac{1}{p}$. Schneidet eine Fläche eine Achse im Unendlichen, so ist der Index Null, da $\frac{1}{\infty} = 0$ ist. Da m, n und p ganze Zahlen, echte oder unechte Brüche sind, also z. B. 2, $\frac{2}{7}$ oder $\frac{5}{4}$, so sind infolgedessen auch die Indizes einfach „rationale Größen", d. h. solche Größen, die sich wirklich mit einem gradlinigen Maßstab (Lineal) ausmessen lassen.

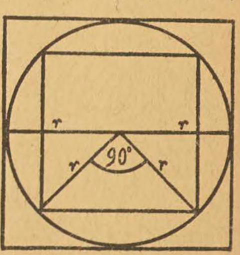


Abb. 44. Berechnung des Kreisumfanges, einer „irrationalen Größe"

„Irrationale Größen" lassen sich nicht genau so ausmessen, sondern man kann nur durch Messung mit dem Lineal die Grenzen angeben, innerhalb deren die irrationale Größe liegt. Will man z. B. den Umfang eines Kreises ausmessen, so verfährt man nach Abb. 44.

Umfang des äußeren Quadrats $4 \times 2r$
" " Kreises $2r\pi$
" " inneren Quadrats $4 \times r\sqrt{2}$

Also muß sein
$4 \cdot 2r$ größer als $\pi \cdot 2r$ größer als $4 \cdot r\sqrt{2}$
oder $4 > \pi > 2\sqrt{2}$
oder da $\sqrt{2} = 1{,}414\cdots$
$4 > \pi > 2{,}828\cdots$

Also liegt die Zahl π zwischen 4 und $2{,}828\cdots$

Um noch eine größere Annäherung zu haben, nimmt man ein dem Kreis einbeschriebenes Achteck oder Sechzehneck oder Zweiunddreißigeck usw., ebenso das dem Kreise umbeschriebene Achteck, Sechzehneck usw. Durch Vergrößerung der Eckenzahl kann man sich dem Werte von π beliebig nähern, ohne allerdings ihn jemals genau zu erreichen. Die Zahl π ist bis auf 32 Stellen

nach dem Komma berechnet worden. Sie lautet 3,14159............

Es ergibt sich für unsere schon oben genannten Flächen an Stelle von 1a : 1b : 1c die neue Bezeichnung (1 1 1) oder allgemein ma : nb : nc der Wert (h k l).

Tritt, wie der letztere Fall zeigt, ein Bruch auf, so sind die Indizes durch Erweitern ganzzahlig zu machen, also (1 $^1/_2$ 2) wird (2 1 4).

Soll die Lage einer einzelnen Fläche in einem bestimmten der acht durch das Achsenkreuz gebildeten Raumteile (Oktanten; octo = acht) angegeben werden (Abb. 45), so geschieht dies bei Weiß durch Unterscheidung der Halbachsen in a, b, c, und a′, b′, c′ als Richtung und Gegenrichtung, bei Miller (Abb. 46) durch Vorsetzen der Zeichen + (plus) und — (minus). In den Indizes bleibt das Pluszeichen fort und das Minuszeichen wird über die Zahl gesetzt. Die D u. E), auch beim Feldspat (Abb. 28) bemerkt man leicht die Zonen.

Es besteht natürlich die Möglichkeit, daß eine Kristallfläche in zwei oder noch mehr Zonen liegt, z. B. in Abb. 30 das Oktaede in drei Zonen, das Rhombendodekeder in je zwei Zonen (Abb. 35).

Nach einfachen Regeln ist es nun möglich, die Indizes der Fläche ohne weitere Winkelmessung zu bestimmen. Man sieht also auch hier, wie die Wissenschaft in die Zusammenhänge zwischen den einzelnen einander scheinbar sich gar nichts angehenden Kristallflächen Licht hineingetragen hat.

6. Das zweite kristallographische Grundgesetz, auch das „Parametergesetz" genannt. Die ersten Erfahrungen über die Anlage der Flächen an Kristallen zeigten bereits, daß nicht Flächen von ganz beliebiger Lage zueinander vorkommen, sondern nur solche,

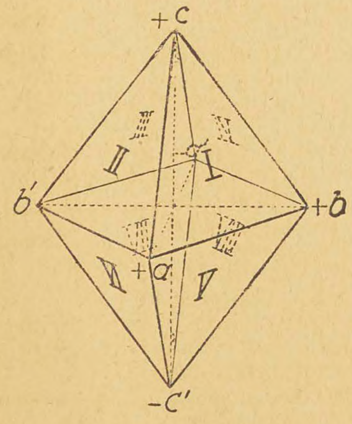


Abb. 45. Achsenkreuz nach Weiß

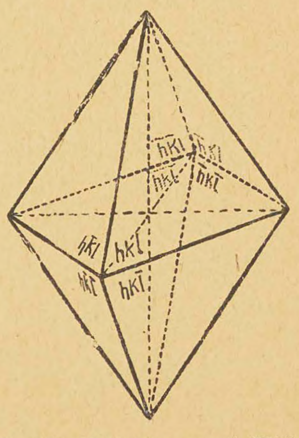


Abb. 46. Achsenkreuz nach Miller

Deutung der Indizes, also die Sprache des Mineralforschers scheint dem Laien auf den ersten Blick hin schwierig zu sein. Indessen geht derjenige, der mit diesen Dingen häufig zu tun hat, außerordentlich leicht mit ihnen um und kann unter Zuhilfenahme von Mathematik sehr viel Berechnungen in einfacher Weise damit anstellen.

5. Zonen. An vielen Kristallen sind einander parallele Kanten vorhanden (vgl. Abb. 19). Die Gesamtheit aller derjenigen Flächen, die sich in parallelen Kanten schneiden, heißt „Zone", die gemeinsame Kantenrichtung die „Zonenachse". Am Goniometer (Abb. 41) heben sich nun die Zonen dadurch heraus, daß nach Einstellung zweier Reflexe oder Spiegelbilder der vermuteten Zone die der übrigen beim Drehen des Kristalls der Reihe nach von selbst in dem Beobachtungsfernrohr erscheinen. Sehr schön zeigen sich Zonen beim Bergkristall (Abb. 34

die in ganz bestimmter Beziehung zueinander stehen. Das Gesetz, das diese Mannigfaltigkeit einengt, ist von René Just Hauy aufgefunden worden. Es besagt folgendes: Nach Wahl der drei Kristallachsen und der Einheitsfläche (Abb. 43) ist das Achsenverhältnis a : b : c festgelegt. Im vorliegenden allgemeinen Fall ist dieses Achsenverhältnis irrational, also z. B. beim Feldspat a : b : c = 0,6586... : 1 : 9,5558... Warum das so sein muß, ergibt eine einfache Überlegung. Schneidet man aus dem Feldspat eine Kugel aus und erhitzt sie, nachdem man die Richtung der drei Achsen an ihr kenntlich gemacht hat, so wird die Kugel zu einem eiförmigen Gebilde, das nach allen drei Richtungen verschieden stark sich ausgedehnt hat. Da man die Temperatur kontinuierlich, also stetig steigert, muß auch ein stetiges Wachstum der drei Achsen eintreten. Dies wird aber nur geschehen können, wenn die Zahlen, in denen das Achsenverhältnis

ausgedrückt ist, unendlich viele Stellen nach dem Komma haben, also irrational sind.

Gewöhnlich bezieht man das Achsenverhältnis auf Zimmertemperatur. Dann sind die Achsenabschnitte aller übrigen Flächen desselben Kristalles rationale Vielfache oder Brüche des Grundmaßes. Die Weißschen Koeffizienten m, n, p bzw. die Millerschen Indizes sind rationale Zahlen, und zwar lehrt die Erfahrung, daß es meist einfache Zahlen sind, z. B. $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$, $^2/_3$, 1, 2, 3, 4 und auch ∞ oder 0.

In diesem wichtigen Gesetz der rationalen Achsenabschnitte offenbart sich das innere Wesen der Kristalle. Hierdurch unterscheiden sich die Kristallflächen von denjenigen beliebig konstruierter geometrischer Körper oder künstlich angeschliffener Flächen an Edelsteinen oder an Gläsern, die als Edelsteinimitation dienen. Auf Grund des Feinbaues kann man diese Tatsache der rationalen Achsenabschnitte sehr gut erklären.

Elfter Abschnitt. Kristallographische Symmetrieelemente

Wenn wir die Kristalle vom rein künstlerischen Standpunkte betrachten, so fällt uns ohne jede Rechnung sofort ein anderes Baugesetz auf, es liegt in der Regelmäßigkeit, im Symmetriegrade (symmetria = das Ebenmaß), mit der die gleichen Flächen und gleichen Winkel an den Kristallen verteilt sind. Was uns in der Architektur durch das mehr oder minder häufige Wiederkehren von Bauteilen, etwa der Kannellierung von Säulen oder durch sonstige Ornamente gemäß den Gesetzen der anorganischen Baukunst oft von erhabener Schönheit erscheint, das offenbart sich in besonders schöner Einfachheit und Strenge in der durch ebene Flächen, gerade Kanten und Ecken geschmückten Welt der Kristalle. Während man bisher vergeblich nach einem umfassenden Gesetz in der so mannigfachen Formenwelt des organischen Lebens sucht, sind die Schönheitsregeln des Anorganischen überraschend einfach. Die Grundbegriffe sind die der Symmetrieebene, Symmetrieachse und des Symmetriezentrums.

1. Eine Symmetrieebene oder Spiegelebene teilt den Kristall in Hälften, die sich wie der Gegenstand und sein Spiegelbild verhalten. Abb. 47 zeigt ein kristallographisches Ornament mit einer Symmetrieebene, Abb. 48 ein solches mit zwei Symmetrieebenen.

Es ist, wie Abb. 49 zeigt, bedeutsam, daß die Natur die Kristallgebäude recht häufig ohne

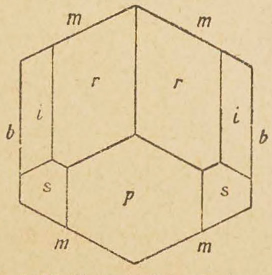


Abb. 47. Kristallographisches Ornament mit 1 Symmetrieebene. Hornblende aus Basalt von oben gesehen (Kopfbild)

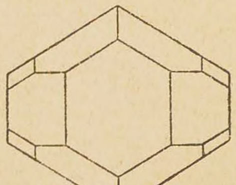


Abb. 48. Kristallographisches Ornament mit 2 Symmetrieebenen. Aragonit (Kopfbild)

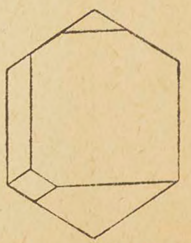


Abb. 49. Kristallographisches Ornament ohne Symmetrieebene

jede Symmetrieebene errichtet, so hauptsächlich bei den hochkomplizierten organischen und anorganischen Verbindungen. Ungemein häufig ist auch der Fall des Auftretens von einer Symmetrieebene, der auch im Reiche des Organischen bei Pflanzen und Tieren, wenigstens für den äußeren Anblick sich oft zeigt: links und rechts sind spiegelbildlich gleich. Weiterhin kann sich die Zahl der Symmetrieebenen erhöhen auf 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 9. Kristalle, durch die man mehr als 9 Symmetrieebenen legen könnte, gibt es nicht.

2. Die Symmetrieachsen oder Deckbewegungsachsen geben den Rhythmus an, in welchem die um eine Richtung gruppierten Bauteile gleicher Art nach einer gewissen Drehung wiederkehren, d. h. mit sich zur Deckung gelangen. Deshalb nennt man diese Achsen auch Deckbewegungsachsen. Der Kristall ruft dann denselben künstlerischen Eindruck hervor, wie etwa in der Architektur eine Rosette oder die radialen (radius = der Strahl) Streben einer Kuppel (nach F. Rinne). Kommt der Kristall nach einer Drehung von zwei rechten Winkeln mit sich zur Deckung, so liegt eine zweizählige Achse vor, bei einer Drehung um 120° eine dreizählige, bei 90° eine vierzählige, bei 60° eine sechszählige, allgemein bei $\frac{360}{n}$ Grad eine n-zählige Symmetrieachse. Als Beispiele von Symmetrieachsen dienen Abb. 50—53.

Durch Kombination, Zusammentreten von

Symmetrieebenen und Symmetrieachsen wird die Regelmäßigkeit der Ornamente noch erhöht, wie aus den Abb. 54—57 hervorgeht.

Indessen zeigt sich abweichend vom Reiche der Architektur und des organischen Lebens eine Beschränkung der Symmetrieebenen und -achsen. Nie erscheinen acht Symmetrieebenen an einem Kristall oder mehr als neun, und niemals bietet sich ein Rhythmus nach der Fünfzahl dar, der doch im Reiche der niederen Tierwelt, etwa bei den Seesternen und Seeigeln, sowie auch bei den Pflanzen, ganz besonders an den Blütenteilen, so häufig ist. Diese Beschränkung ist im Feinbau der Kristalle in der regelmäßig dreifach periodischen Anordnung der Massenteilchen aufs beste begründet (vgl. S. 38) und steht im engsten Zusammenhange mit dem Grundgesetz der Kristalllehre von der Rationalität der Achsenabschnitte,

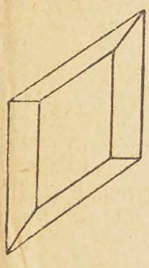


Abb. 50.
Achse 2-zählig
z. B. Gips
oder Feldspat
(Seitenansicht)

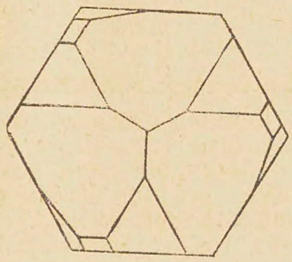


Abb. 51.
3-zählig
Quarz
(Kopfbild)



Abb. 52.
4-zählig
Wulfenit
Kopfbild)

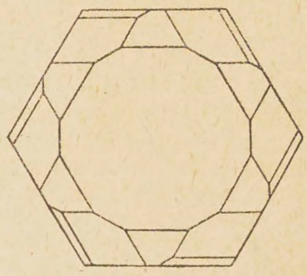


Abb. 53.
6-zählig
Apatit
(Kopfbild)

Kristallographische Ornamente mit rhythmischer Symmetrie

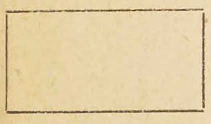


Abb. 54.
(Kopfbild)

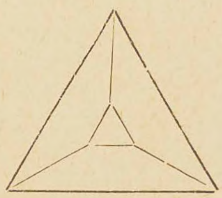


Abb. 55.
(Kopfbild)

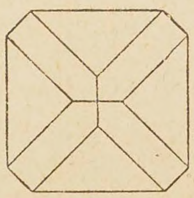


Abb. 56.
Zinnstein
(Kopfbild)

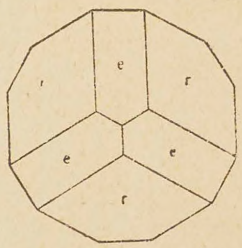


Abb. 57.
Kalkspat
(Kopfbild)

Kristallographische Ornamente mit spiegelbildlicher und rhythmischer Symmetrie

Endlich sieht man an idealen Kristallen, daß an den meisten zu jeder Fläche eine gleichwertige parallele Gegenfläche auftritt; man spricht dann von dem Vorhandensein eines Symmetriezentrums.

Als Beispiel für die hohe Symmetrie, die im Reich der Kristalle erreicht werden kann, sei der Würfel (Abb. 58) gewählt, an dem ohne weiteres die Gleichberechtigung seiner 6 Flächen, 8 Ecken und 12 Kanten heraustritt. Die Abb. 58 läßt leicht die drei Symmetrieebenen parallel zu den Würfelflächen, die 6 parallel zu den Diagonalflächen (Rhombendodekaederflächen) erkennen, sowie die 3 vierzähligen (■), 4 dreizähligen (▲), 6 zweizähligen (●) Achsen, die letzteren jeweils die Mitten paralleler Kanten, die dreizähligen je zwei gegenüberliegende Ecken, die vierzähligen die Mitten von je zwei parallelen Seiten verbindend.

Durch mathematische Folgerungen aus dem kristallographischen Grundgesetz wurde schon 1830 von Chr. F. Hessel, Professor der Mineralogie und der Bergbaukunde an der Universität Marburg, bewiesen, daß 32 Kristallgruppen oder Klassen mit verschiedener Symmetrie möglich sind, von denen 31 bisher an natürlichen und künstlichen Kristallen beobachtet sind. Eine jede Klasse vereinigt kristallisierte Körper mit bestimmten gemeinsamen Symmetrieverhältnissen. Alle Kristalle, welche auf ein gleich symmetrisches Achsenkreuz bezogen werden können, bilden einen engeren Verband, ein Kristallsystem. Es sind

ihrer sieben, die in der folgenden Weise charakterisiert sind (siehe Abb. 59—65). Hierbei bedeutet $a = b$: a ist gleich b, $a \neq b$: a ist verschieden

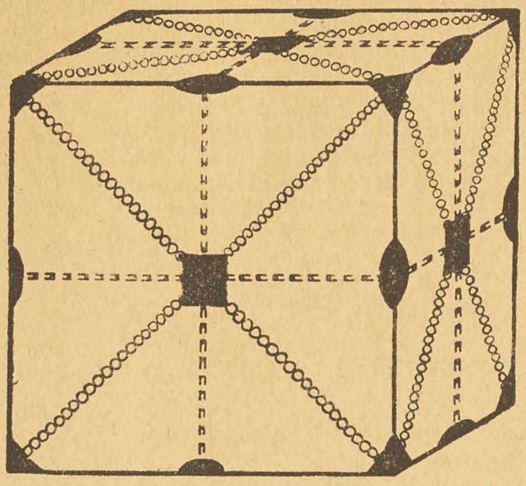


Abb. 58. Symmetrie-Elemente des Würfels

von b, $\beta \gtrless 90$: β ist größer (>) oder kleiner (<) als 90°.

1. Triklines System: drei ungleichwertige, sich unter schiefen Winkeln α, β, γ schneidende Achsen a, b, c.
2. Monoklines System: Drei ungleiche Achsen a, b, c, zwei (a, c) schneiden sich unter stumpfem Winkel β, die dritte b steht auf beiden senkrecht.
3. Rhombisches System: Drei ungleiche, aufeinander senkrechte Achsen a, b, c.
4. Trigonales System: Drei gleiche unter Winkeln von 120° sich schneidende Nebenachsen a, eine auf diesen senkrechte Hauptachse c. Die +- und —-Seiten gibt die Abbildung an.
5. Tetragonales System: Zwei gleiche aufeinander senkrechte Nebenachsen a, eine senkrechte auf beiden stehende Hauptachse c.
6. Hexagonales System: Achsenkreuz wie beim trigonalen System, indes $\gamma = 60°$.
7. Isometrisches (reguläres) System: Drei gleiche aufeinander senkrechtstehende Hauptachsen a.

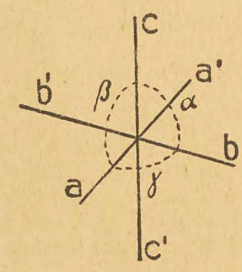


Abb. 59.
Triklines System
$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

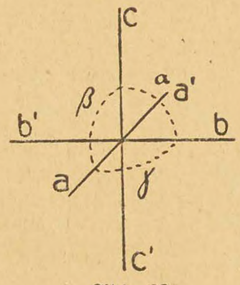


Abb. 60.
Monoklines System
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \gamma = 90°$ $\beta \gtrless 90°$

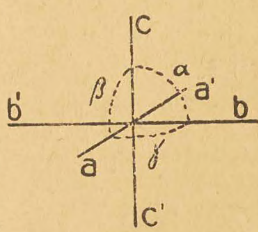


Abb. 61.
Rhombisches System
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

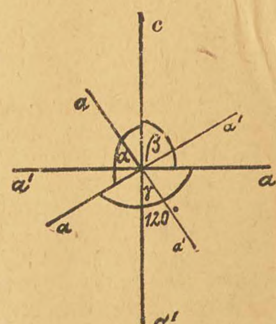


Abb. 62.
Trigonales System
$a \neq c$ $\gamma = 120°$ $\alpha = \beta = 90°$

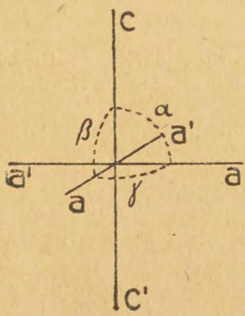


Abb. 63.
Tetragonales System
$a \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

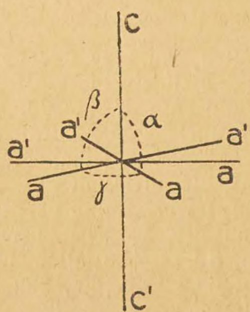


Abb. 64.
Hexagonales System
$a \neq c$
$\alpha = \beta = 90°$
$\gamma = 60°$

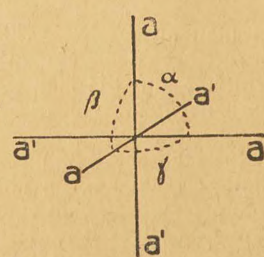
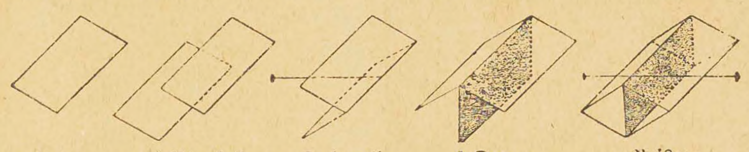


Abb. 65.
Isometrisches (reguläres) System
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$

Zwölfter Abschnitt. Die 5 Prinzipien der kristallographischen Ornamentik

Schon von G. v. Tschermak ist der Gedanke herausgehoben worden, die Mannigfaltigkeit der kristallographischen Formen auf fünf in sich harmonisch zusammenhängende Typen, sog. Urformen zurückzuführen und umgekehrt aus ihnen im stufenweisen Aufbau sämtliche 32 Klassen abzuleiten. Die Urform p (Ebene = Pedion) stellt eine für sich selbständige Fläche dar, also ein symmetrieloses Gebilde, pi das Pinakoid (pinax = das Brett), bestehend aus Fläche und paralleler Gegenfläche, ist die Verkörperung des Symmetriezentrums, s das Sphenoid (sphen = der Keil), bestehend aus Fläche und Umklappungsfläche ist, die Verkörperung einer 180°-Drehung um eine zur Durchschnittskante senkrechte Achse; d das Doma (doma = das Haus, Dach) wird von zwei Flächen in spiegelbildlicher Lage gebildet (Prinzip der Spiegelung), und m das Prisma (prisma = das Abgesägte) geht aus einer Kombination von d + s oder d + pi oder s + pi hervor, es ist sozusagen eine Urform II. Ordnung. Figürlich stellen sich diese fünf Urformen anschaulich so dar (Abb. 66):



p = Pedion pi = Pinakoid s = Sphenoid d = Doma m = Prisma

Abb. 66. Urformen

1. Bei der Betrachtung stellt man die Kristalle zweckmäßig so, daß eine Achse (c) vertikal steht, die zweite (b) von rechts nach links geht, die Lage der dritten (a) ergibt sich dann von selbst.
2. Zur Berechnung der Winkel α, β, γ des Achsenkreuzes, sowie des Achsenverhältnisses a : b : c sind im triklinen System 5, im monoklinen 3, im rhombischen 2, bei dem trigonalen, tetragonalen und hexagonalen System 1 und beim isometrischen System 0 Winkelmessungen erforderlich.

Aus diesen fünf Typen lassen sich in höchst einfacher Weise die Mannigfaltigkeiten der gesamten Kristallwelt als Fälle einer rhythmischen Wiederholung der Urformen nach der 1-, 2-, 3-, 4-, 6-Zahl ableiten.

Man kann die Symmetrieachsen in zwei Gruppen teilen:

1. in einfache Symmetrieachsen (Drehachsen), wenn die Kristallflächen durch einfache Drehungen zur Deckung gelangen,
2. in zusammengesetzte Symmetrieachsen (Drehspiegelachsen), wobei die Kristallflächen erst nach einer Drehung und gleichzeitiger Spiegelung an einer zur Achse senkrechten Spiegelebene zur Deckung gebracht werden können.

Dreizehnter Abschnitt. Kristallformen innerhalb der Klassen

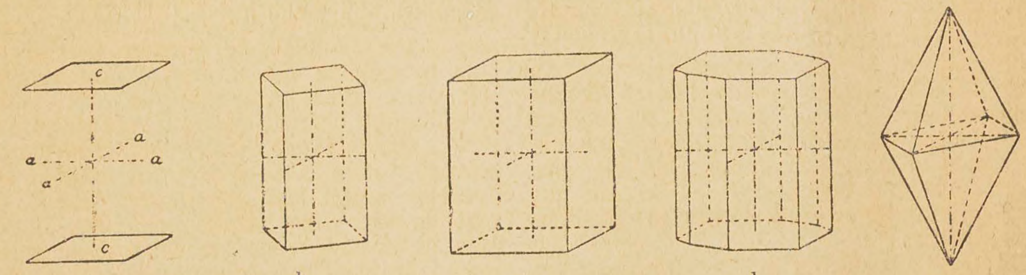
Innerhalb der einzelnen Klassen ist es möglich, die Anlage der Flächenornamente mannigfach zu verändern. Man kann Flächen in allgemeinster Lage, d. h. solche, die alle drei Achsen schneiden, benutzen. Es entstehen andere Gebilde, wenn man die Ausgangsfläche einer oder zwei Achsen parallel legt. Im Falle der Stufe 5 (siehe Abb. 63) z. B. können die Flächen wie im folgenden gezeichnet liegen (Abb. 67).

In ähnlicher Weise kann die Ableitung der Formenmannigfaltigkeit in den übrigen Klassen erfolgen. Je höher die Forderungen der Symmetrie sich stellen, um so reicher wird die Ornamentierung des Flächenschmuckes. Ist es im triklinen System (Abb. 59) die Einzelfläche, die der Ausgestaltung dient, so steigt die Zahl der gleichwertigen Flächen immer mehr, bis sie im regulären System mit 48 gleichwertigen Flächen die höchste Prachtentfaltung im anorganischen Reich erreicht.

Hemiedrie. Bisweilen kommt es vor, daß z. B. an einem scheinbaren Oktaeder die Hälfte der Flächen glänzend, die andere matt ist, oder daß die einen groß, die anderen nur klein ausgebildet sind, ja es kann dahin kommen, daß die andere Hälfte ganz fehlt. So wird aus dem Oktaeder ein Tetraeder, also aus dem Achtflächner ein Vierflächner (Abb. 68). Solche Tetraeder treten bei der Zinkblende, einem unserer häufigsten Zinkerze, das namentlich auf Gängen im Harz, Erzgebirge und in Nassau, ferner in Oberschlesien, Ungarn und Siebenbürgen sowie in Spanien vorkommt, sehr häufig auf. Man nennt diese Erscheinung Halbflächigkeit oder Hemiedrie (hemi = halb, hedron = die Fläche) und die Körper selbst Halbflächner oder Hemieder. Sie besitzen weniger Spiegelebenen oder Symmetrieachsen als die vollflächigen Kristalle oder Holoeder (holos = voll). Z. B. hat das Oktaeder 3 + 6 Symmetrieebenen, das Tetraeder da-

gegen nur noch 6, die jeweils durch eine Ecke und die gegenüberliegende Kantenmitte gehen. Wie man sieht, kann jeder Vollflächner zwei Halbflächner liefern, je nachdem die eine oder die andere Hälfte seiner Flächen in gesetzmäßiger Weise fortgenommen wird. Beide Halbflächner haben dieselbe Gestalt, sie sind aber physikalisch verschieden, man nennt sie auch korrelate Formen (con = zusammen, relatio = die Beziehung). Seltener ist die weitere, fortgesetzte Halbierung, die zur Viertelflächigkeit und Achtelflächigkeit führt.

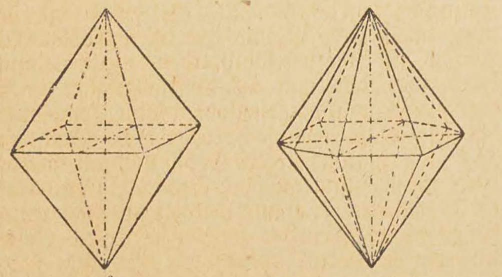
Jede Hemiedrie ist eine Kristallklasse für sich. Es gibt 6 holoedrische und 26 nichtholoedrische Klassen, insgesamt also 32. In diesen 32 Kristallklassen lassen sich alle in der Natur vorkommenden sowie künstlich gezüchteten Kristalle unterbringen, und es wird nie Kristalle geben, die sich nicht darin unterbringen lassen könnten, denn es läßt sich mathematisch nachweisen, wie schon oben erwähnt, daß andere Klassen nicht existieren. Auf diese Klassen kann hier selbstverständlich nicht eingegangen werden. Eine Übersicht findet man



a b c d e

Abb. 67. Kristallformen in der höchstsymmetrischen Klasse des tetragonalen Systems

a: Flächen 2 gleichen Achsen parallel; b: Flächen einer Achse c parallel; c: Flächen 2 ungleichen Achsen parallel; d: Flächen einer Achse parallel; e: Flächen keiner Achse parallel



f: Flächen einer Achse parallel; g: Flächen keiner Achse parallel

z. B. in R. Brauns Mineralogie (Sammlung Göschen).

Zwillingsbildung. Kristalle einer Substanz können in verschiedener Weise miteinander verwachsen, entweder so, daß entsprechende Flächen je zweier Kristalle parallel sind — **Parallelverwachsung** — oder so, daß sie ganz unregelmäßig liegen — **Kristallaggregat** (aggregare = anhäufen) oder **Kristallgruppe** —, schließlich so, daß sie nicht parallel sind, aber doch eine bestimmte Gesetzmäßigkeit der Verwachsung besteht. In diesem Falle spricht man von Zwillingsbildung.

Man unterscheidet nach der Art der Verwachsung: Berührungszwillinge, wenn sich die Einzelkristalle längs einer Kristallfläche berühren, Durchkreuzungszwillinge, wenn sie sich durchkreuzen, und endlich können beide Individuen

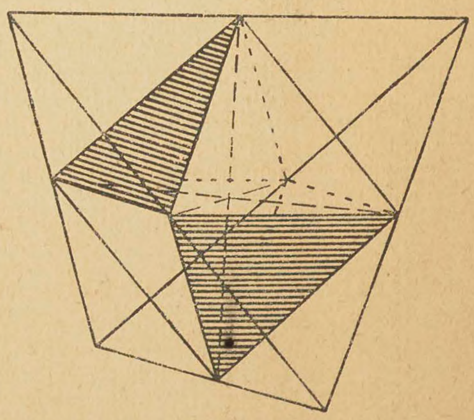


Abb. 68. Achtflächner zum Vierflächner (Tetraeder) werdend durch Fortfall der gestrichelten Flächen

auch ganz und gar durcheinander gewachsen sein, wie z. B. bei den meisten Quarzkristallen.

Kennzeichen der Zwillingsbildung sind fast stets einspringende Winkel, Wechsel von glänzenden und matten Stellen auf den Kristallflächen oder auch Streifung. Die Gesetzmäßigkeit der Zwillingsvereinigung liegt im Auftreten einer Zwillingsebene oder Zwillingsachse oder beider zugleich. Die Zwillingsebene ist eine Spiegelebene für beide Kristalle, senkrecht auf ihr steht stets eine zweizählige Zwillingsachse. Beim Gipszwilling (Abb. 50) verläuft die

Zwillingsebene von vorn nach hinten, die Zwillingsachse von links nach rechts. Beim Quarz ist die Zwillingsachse die senkrechte oder c-Achse, durch Drehung um 180° kommen beide Individuen zur Deckung.

Solchen Zwillingsbildungen liegt ersichtlich das Streben zugrunde, Gebilde von höherer Symmetrie zuwege zu bringen, als sie dem Einzelindividuum innewohnt. Oft wird durch wiederholte Zwillingsbildung eine viel höhere Symmetrie in so vollkommener Weise vorgetäuscht, daß sie nur durch genaue Messung der Kristallwinkel oder durch optische Untersuchung mittels polarisierten Lichtes (siehe S. 31) erkannt werden kann.

Vierzehnter Abschnitt. Die physikalischen Eigenschaften der Kristalle

Die Gesteine als Kompositionen der Mineralien zeigen im frischen Zustand außerordentliche Festigkeitszahlen für Druck. Granit z. B. kann man auf den Quadratzentimeter mit rd. 1500—2500 kg belasten, ohne daß er Veränderungen zeigt. Die Zugfestigkeit ist dagegen viel geringer, da es sich hier lediglich um die Überwindung des Zusammenhaftens der einzelnen Mineralkörner handelt. Deshalb gilt als Regel beim Bau Gesteine nur auf Druck zu beanspruchen.

Härte. Verwickelter als die Umstände der Druck- und Zugfestigkeit ist der Begriff der Härte der Mineralien. In mineralogischen Kreisen versteht man z. T. hierunter etwas ganz anderes als in der Technik. Im allgemeinen kann man wohl sagen: Härte ist der Widerstand des Minerals gegen Verletzungen (durch Ritzen, Schaben, Schleifen, Bohren, Fräsen u. dgl.).[1] Oft ist an einem Mineral, besonders an solchen mit guter Spaltbarkeit, die Härte nach verschiedenen Richtungen verschieden; die Diamantschleifer wissen seit langem, daß beim Schleifen die Würfelfläche viel härter ist als die Oktaederfläche (Abb. 33).

Trotz dieser Unvollkommenheit der Begriffsbestimmung oder Definition hat die Härte doch eine große praktische Bedeutung, da sie zu einer Unterscheidung der Mineralien dient. Als Anhaltspunkt dient die Probeskala nach F. Mohs von 10 Mineralien. Jedes ritzt das vorhergehende, Härte 1: Talk, H. 2: Steinsalz, H. 3: Kalkspat, H. 4: Flußspat, H. 5: Apatit, H. 6: Feldspat, H. 7: Quarz, H. 8: Topas, H. 9: Korund, H. 10: Diamant. Diese Stufen sind nur ein relatives Maß für die Härte, man darf nicht etwa annehmen, der Diamant sei 10mal so hart als Talk, vielmehr ist das nach neueren Methoden ermittelte richtige Verhältnis zwischen Korund 9 und Diamant 10 etwa wie 1 : 100 000, also Diamant 100 000mal härter als Korund. Hiernach kann die Härte eines Minerals leicht bestimmt werden, gleichharte ritzen sich gegenseitig nicht oder nur wenig. Mineralien bis Härte 2 lassen sich vom Fingernagel ritzen und fühlen sich fettig an, statt Apatit kann man Fensterglas nehmen. Man beachte, daß guter Stahl (Taschenmesser) die Härte 6—6,5 besitzt. Härte 8—10 ist Edelsteinhärte, die also nicht nur ihres Glanzes und Feuers wegen geschätzt werden. Dadurch ist es möglich, die Edelsteine sofort von Imitationen (Straß) zu unterscheiden. Die Anschaffung einer Härteskala ist jedem Freund der Mineralogie anzuraten. Diamant und Korund sind für den praktischen Gebrauch entbehrlich.

Spezifisches Gewicht. Unter spezifischem Gewicht oder der Dichte eines Minerals versteht man die Zahl, welche angibt, wievielmal schwerer ein bestimmter Raumteil, z. B. ein Kubikzentimeter desselben ist, als der gleiche Raumteil Wasser. Da hierbei die Ausdehnung eine Rolle spielt, so nimmt man als Normaltemperatur für das Wasser 4° C an, weil bei dieser Temperatur das Wasser seine größte Dichte hat. Man kann auch sagen, das spezifische Gewicht ist das Gewicht eines Kubikzentimeters der Substanz, ausgedrückt in Grammen. Wie man das spezifische Gewicht im einzelnen bestimmt, sowohl bei festen wie bei flüssigen Körpern, darauf kann hier nicht näher eingegangen werden (vgl. Physik). Nur einige Ergebnisse seien genannt, besonders da sie die hohe Bedeutung des spezifischen Gewichts für das gesamte Wirtschaftsleben vor Augen führen. Die Gesamterde besitzt das hohe spezifische Gewicht 5,527. Die uns zugänglichen Erdräume dagegen weisen ein viel geringeres spezifisches Gewicht auf, die Lufthülle rund $\frac{1}{773}$, die Wasserhülle 1,000 bis 1,028, die Steinhülle oder Lithosphäre durchschnittlich 2,7. Man schließt hieraus, daß der Erdkern aus schwerem Material aufgebaut ist und vermutet nach dem Befund der Meteoriten, der Boten von anderen zersprungenen Weltkörpern, daß auch unser Erdkern aus Eisen mit einem kleinen Nickelgehalt besteht, zumal man Eisen auch reichlich in Form von Eisenerzen in der Außenrinde findet und außerdem Eisen ein nie fehlender Bestandteil aller Mineralien ist. Gerade die technisch wichtigsten Stoffe wie Platin, Gold, Silber, Eises und ähnliche besitzen ein so hohes spezifischen

[1] Von welchem großen volkswirtschaftlichen Interesse diese Härteunterschiede der Mineralien sind, zeigt sich im Bergwerksbetrieb, bei Bahn- und Tunnelbauten. Beim Bau des Simplontunnels kam man beispielsweise, solange man im Kalkstein arbeitete, täglich etwa 20 m vorwärts, im Quarzgestein konnte diese Zahl auf 1/2 m sinken.

Gewicht, daß sie so recht eigentliche Tiefebildungen und nur dort an die Erdoberfläche gelangt sind, wo besondere Ereignisse, Eruptionen (eruptio = der Ausbruch) oder mächtige Faltungen in großer Tiefe befindliche Stoffe nach außen beförderten.

Zu den schwersten Mineralien gehören außerdem die Erze, z. B. Magneteisen oder Magnetit (spez. Gew. = 5), Eisenglanz (G. = 5), Verbindungen von Schwefel mit Metallen, d. h. sulfidische Erze (Sulfur = der Schwefel) wie Eisenkies oder Schwefelkies oder Kupferkies oder Bleiglanz (G. = 5—7,5). Die Hauptmenge des Materials der Erdkruste, nämlich Quarz, Feldspat, Glimmer, Kalkspat, Leuzit, Nephelin u. ä. haben nur ein mittleres Gewicht von 2,7. Auf dieser Tatsache gründet sich die technische Aufbereitung der Erze, d. h. die Scheidung der Erze von den Gesteinsmassen, die als unnütze Bestandteile an ihnen hängen und bei der Verhüttung nur unnötige Verluste an Koks und andere Mißhelligkeiten bringen würden. Außerdem macht man in der Gesteinskunde, der Petrographie und in der Bodenuntersuchung von dieser Tatsache zur Trennung der Gesteinsgemengteile Gebrauch, indem man einen Wasserstrom über das Material dahinstreichen läßt, wodurch die leichten Bestandteile mitgerissen werden; die schweren bleiben zurück.

Fünfzehnter Abschnitt. Optische Eigenschaften der Mineralien

Die Mannigfaltigkeit der Kristalle in geometrischer Hinsicht ist durch die 32 Kristallklassen gekennzeichnet. Diese reduzieren sich in optischer Hinsicht auf nur fünf Gruppen mit verschiedener optischer Symmetrie. Wir können sie gliedern in

1. die isotropen (isos = gleich, trope = wenden) oder das Licht einfach brechenden Mineralien. Hierhin gehören alle amorphen Substanzen, sowie die im regulären System kristallisierenden Mineralien.

2. die anisotropen (anisos = ungleich) oder das Licht doppeltbrechenden Mineralien. Jeder eintretende Lichtstrahl wird im allgemeinen in zwei Strahlen zerlegt, den ordentlichen und außerordentlichen Strahl. Hierzu gehören alle anderen Mineralien.

Die zweite Gruppe zerfällt wiederum in die a) optisch einachsigen und b) optisch zweiachsigen Kristalle, je nachdem es im Kristall ein oder zwei Richtungen gibt, parallel zu denen ein durchgehender Lichtstrahl keine Doppelbrechung erleidet. Diese Richtungen der Isotropie heißen optische Achsen, und man spricht daher von optisch ein- und zweiachsigen Mineralien.

a) Die optisch einachsigen Kristalle gehören zum trigonalen, tetragonalen und hexagonalen System (Abb. 62—64), die alle eine ausgezeichnete Hauptachse besitzen (siehe S. 26). Parallel zu dieser kristallographischen Hauptachse geht die optische Achse der Isotropie, oder anders ausgedrückt: in dieser Richtung geht der Lichtstrahl unverändert weiter. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist parallel und senkrecht zur optischen Achse verschieden und zwar entweder am größten oder am kleinsten. Pflanzt sich der Lichtstrahl in der Richtung der optischen Achse schneller als in jeder anderen Richtung fort, so heißt der Kristall positiv doppelbrechend, pflanzt er sich dagegen langsamer als in jeder anderen Richtung fort, negativ doppelbrechend. Positive Mineralien sind der Quarz, negative der Kalkspat.

b) Die optisch zweiachsigen Mineralien gehören zum rhombischen, monoklinen und triklinen System (Abb. 59—61) und bilden drei weitere verschiedene Gruppen. Die beiden optischen Achsen, also die Richtungen der einfachen Brechung, bestimmen eine Ebene im Kristall, die Achsenebene. Sie bilden im allgemeinen einen zwischen 0° und 90° schwankenden Winkel, den Achsenwinkel. Die Linien, welche diese Achsenwinkel halbieren, heißen Mittellinien. Senkrecht auf der Ebene, in der die optischen Achsen liegen, steht die sog. optische Normale. Diese drei Richtungen, also die beiden Mittellinien und die optische Normale, stellen im Kristall zugleich die größten und kleinsten Werte der Lichtgeschwindigkeit dar, d. h. in diesen Richtungen bewegt sich ein Lichtstrahl, der vom Mittelpunkt des Kristalles ausgeht, entweder am schnellsten oder am langsamsten gegenüber allen anderen Richtungen im Kristall. In der Richtung der optischen Normale hat die Lichtgeschwindigkeit einen mittleren Wert.

Die Lage der Ebenen der optischen Achsen steht in enger Beziehung zur Kristallform. Bei den rhombischen Mineralien liegt sie stets parallel zu einem der drei Pinakoide (vgl. S. 27), im monoklinen System steht die Ebene der optischen Achsen entweder senkrecht auf der Symmetrieebene, oder sie verläuft parallel zur Symmetrieebene. Im triklinen System endlich läßt sich keine gesetzmäßige Beziehung zwischen der Lage der optischen Achsen und der kristallographischen Achsen nachweisen.

Die ungemein wichtige Frage, wie man isotrope und anisotrope Mineralien in der kristallographisch-optischen Praxis unterscheiden kann, läßt sich mit Hilfe des „linearpolarisierten Lichtes" (Erklärung siehe unten) leicht lösen. Für den Edelsteinfachmann hat diese Prüfung außerordentliche Bedeutung, da der zu prüfende Edelstein weder einer Behandlung durch Säuren oder Hitze oder ein anderes härteres Mineral unter.

worfen zu werden braucht, also nicht die geringste äußere Veränderung zu erleiden hat. Vor allem aber haben sich die *Petrographen* oder Gesteinsforscher sowie die *Chemiker* und viele andere Wissenschaftler die Untersuchung fester und flüssiger Körper mit Hilfe des linearpolarisierten Lichtes zunutze gemacht. Besonders bei den kleineren Objekten, die nur durch das Mikroskop zugänglich sind, bedeutet diese Untersuchungsmethode eine gewaltige Erleichterung für die Forschung und Erweiterung unserer Sinneswerkzeuge und wenn die alten Mineralogen des vergangenen Jahrhunderts wie Naumann, Abraham Gottlieb Werner, Cotta und andere dieses Verfahren schon gekannt hätten, dann wären nicht jahrzehntelang falsche Ansichten über die Bildung gewisser Gesteine erhalten geblieben.

Linearpolarisiertes Licht ist solches, bei dem die Schwingungen der Ätherteilchen, die wir auf unserer Netzhaut als Licht wahrnehmen, nur in *einer* Ebene erfolgen. Man nennt diese

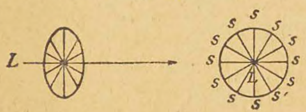


Abb. 69. Schwingungsform des gewöhnlichen Lichtes, links perspektivisch, rechts in der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes gesehen



Abb. 70. Schwingungsform von linear polarisiertem Licht, links perspektivisch, rechts in der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes gesehen

Ebene Polarisationsebene. Sie liegt stets senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtstrahls. Es sind also die Lichtschwingungen sog. transversale Wellen (vgl. Physik). Man kann sich sehr leicht eine Anschauung von solchen transversalen (transversarius = quer hindurchgehend) Lichtquellen verschaffen, wenn man etwa einen Gummischlauch oder einen wenigstens einen Meter langen dünnen Spiraldraht an einem Ende befestigt und von dem freien in der Hand behaltenen Ende her in auf- und abwärtsgehende Bewegung versetzt. Dann schwingt jedes Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Wellenbewegung, also transversal. Die Abbildungen 69 und 70 zeigen einerseits Schwingungsformen des gewöhnlichen und des geradlinig oder linearpolarisierten Lichtes perspektivisch sowie in der Richtung der Fortpflanzung des Lichtstrahles gesehen.

Aus geradlinig polarisiertem Lichte kann man sich gewöhnliches Licht, wie es uns die Sonne und jeder andere leuchtende Körper spendet, dadurch entstanden denken, daß die Polarisationsebene oder Schwingungsebene ungeheuer schnell wechselt, so daß praktisch Schwingungen in allen Lagen stattfinden.

Zur Herstellung dieser einfachen Lichtsorte, des geradlinig polarisierten Lichtes, benutzt man ein sog. Nicolsches Prisma aus Kalkspat, das so geschliffen ist, daß von den durch Doppelbrechung entstehenden beiden Lichtstrahlen, die beide geradlinig polarisiert sind und senkrecht zueinander schwingen, nur der außerordentliche Strahl hindurchgeht. Abb. 71 zeigt, wie ein solches Kalkspatprisma in der Richtung c c durchgeschnitten und mit einer Harzlösung (Kanadabalsam) wieder zusammengekittet ist. Der von unten kommende Strahl zerlegt sich an seiner Eintrittsstelle in die beiden genannten Strahlen, von denen der ordentliche o nach außen weggespiegelt wird, während der innere, außerordentliche Strahl e unbeeinflußt weitergeht. Das Nicolsche Prisma ist also eine Art Sieb für Lichtstrahlen. Man nennt den Nicol auch *Polarisator*. In der Praxis benutzt man dazu noch einen zweiten, gleichen Nicol, den *Analysator*, den man um seine Längsachse beliebig drehen kann.

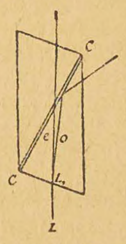


Abb. 71. Schema des Nicolschen Kalkspatprismas (Längsschnitt)

Stehen die Polarisationsebenen senkrecht zueinander, so hat man „*gekreuzte Nicols*". Blickt man durch beide hindurch, dann bleibt das Gesichtsfeld dunkel. Ein zwischen beide eingeschobenes Kristallpräparat bewirkt sofort eine Aufhellung, falls die Mineralien anisotrop sind. Isotrope Substanzen lassen alles dunkel. Edelsteine, ob künstlich oder natürlich, verraten durch diese Betrachtung ihre Zugehörigkeit zu bestimmten Kristallsystemen und damit ihre Echtheit. Vollkommen hinreichend und entscheidend ist diese Untersuchungsmethode nicht bei allen Edelsteinen, aber der Kenner wird nach der optischen Prüfung schon die Entscheidung fällen können.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die höchst auffallende Erscheinung, daß zwei glasklare Kristalle, die Nicolschen Kalkspatprismen, durch die man einzeln ungehindert hindurchblicken kann, in Richtung ihrer Achse hintereinandergestellt und gekreuzt völlige Dunkelheit erzeugen, eines der schönsten Ergebnisse der Wellentheorie des Lichtes ist (vgl. Physik). Auf die Besprechung der weiteren z. T. außerordentlich farbenprächtigen optischen Erscheinungen bei den Kristallen, die nur mit Hilfe des Polarisationsmikroskopes oder auch schon einfacher Polarisationsinstrumente gesehen werden können, muß hier verzichtet werden.

Zirkularpolarisation. Eigentümliche Polarisationserscheinungen zeigen die Mineralien

Quarz und Zinnober, wenn man senkrecht zur kristallographischen Hauptachse geschnittene Platten im Polarisationsapparate betrachtet. Es ist die sog. Zirkularpolarisation. Ihr Wesen besteht darin, daß die Schwingungsebene des in den Kristall eintretenden linearpolarisierten Lichtes in ihm gedreht wird. Man nennt solche Kristalle auch „optisch-aktiv". Quarz und Zinnober sind optisch einachsige Kristalle, auch optisch zweiachsige Kristalle wie der Rohrzucker können „optisch aktiv" sein. Diese Tatsache hat für die Technik sowohl wie für die Wissenschaft und besonders auch die Heilkunde eine außerordentliche Bedeutung: durch Untersuchung der gelösten Stoffe, die man in ein Glasrohr einfüllt und zwischen gekreuzte Nicols bringt, kann sofort das Wesen der Lösung erkannt werden. Auch die Untersuchung des Urins von zuckerkranken Personen kann außerordentlich schnell in dieser Weise durchgeführt werden, und jeder Kranke kann seinen Krankheitszustand dauernd selbst kontrollieren. Es ist also von Bedeutung, daß auch die Lösungen optisch-aktiver Substanzen Zirkularpolarisationen zeigen, was nur dadurch erklärlich ist, daß die Moleküle, also die kleinsten Teilchen des Stoffes selbst optisch-aktiv sind. Die Chemie der organischen Substanzen kennt eine Unmenge solcher Stoffe. Mit Hilfe von „Saccharometern" (saccharum = der Zucker; also Apparat zur Ermittlung des Zuckergehaltes) kann man aus dem Grad der Drehung, den die Stoffe bewirken, auf ihren Gehalt in einer Lösung schließen. Von diesem Verfahren machen die Zuckerfabriken ausgiebigen Gebrauch, da sie die Rüben beim Einkauf nach dem Zuckergehalt bezahlen.

Farben der Mineralien. Hinsichtlich der Farbe unterscheidet man die Mineralien in farblose, farbige und gefärbte. Die Farben sind ein Ausdruck der chemischen und physikalischen Beschaffenheit eines Stoffes und hängen eng mit sog. Farbträgern oder Chromophoren (chroma = die Farbe, fero = tragen) zusammen. Ihre Anwesenheit bedingt die Färbung, wie z. B. das Chlorophyll (chloros = gelbgrün, phyllum = das Blatt) in der Blattsubstanz der Pflanzen die grüne Farbe hervorruft. Wo solche Farbgruppen fehlen, sind die Mineralien farblos, wasserhell oder weiß, wie z. B. Bergkristall, Eis; im anderen Falle zeigen sie eine ganz bestimmte ihnen eigentümliche Farbe, wie z. B. die Metalle Gold, Kupfer, aber auch viele andere Kristalle, z. B. Eisenkies (gelb wie die Glockenspeise) oder Malachit (giftgrün). Man nennt sie eigenfarbig. Gefärbt heißen ursprünglich farblose Mineralien, die durch Beimengung eines färbenden Stoffes, z. B. Kohlenstoff, Bitumen (= organische Substanz) oder metallischer Substanzen verunreinigt sind. So z. B. ist Rauchquarz ein durch Bitumen verfärbter Bergkristall, der Rötel (roter Eisenkiesel) ein durch Eisengehalt rot gefärbter Quarz. Sind die fremden Stoffe im Kristall regelmäßig verteilt in Form mikroskopisch feiner Nädelchen, Blättchen, Körnchen, Lamellen u. dgl., so entsteht die Erscheinung der Farbenwandlung, des Asterismus (asterismos = die Sternzeichnung), das Irisieren (Iris = Göttin des Regenbogens). Das Farbenspiel des edlen Opals, des Katzenauges und anderer geschätzter Edelsteine hat hierin seine Ursache.

Wird mit einem farbigen Mineral über eine rauhe Fläche, etwa eine nichtglasierte Porzellantafel, unter einigem Druck hingestrichen, so bleibt ein farbiger Strich übrig, der zur Unterscheidung dienen kann. Praktisch wichtig ist

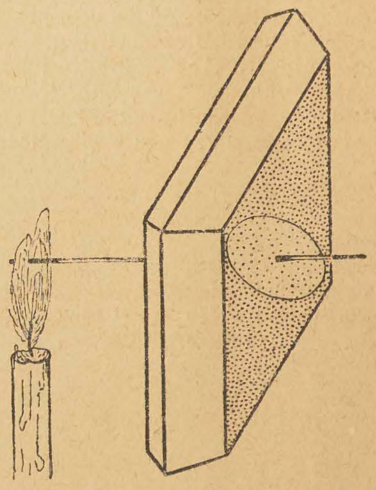


Abb. 72. Wärmeleitung beim Gips

diese Strichfarbe zur Unterscheidung der Eisenerze. Magneteisenerz gibt schwarzen, Roteisenerz oder Eisenglanz roten und Brauneisenerz gelben Strich.

Auch die Juweliere benutzen den farbigen Strich, den sie mit Gold- oder Silbergegenständen auf schwarzem, sehr hartem Schiefergestein, dem Kieselschiefer oder Probierstein erzeugen, zur Erkennung des Edelmetallgehaltes an der Farbe. Sie betupfen den Metallstrich mit Scheidewasser oder Salpetersäure. Diese löst das Silber und etwaiges Kupfer heraus und läßt das Gold zurück.

Thermische, magnetische und elektrische Eigenschaften der Mineralien. Schon in der Einleitung wurde gesagt, daß die Wärmeleitung und die durch Wärme erzeugte geradlinige oder lineare Ausdehnung in den Kristallen mit der Richtung wechselt. Auch hier lassen sich isotrope und anisotrope Körper (vgl. S. 30) unterscheiden wie in der Optik. Berühmt sind die Versuche H. de Sénarmonts (1847), welche die Ausbreitung der Wärme drastisch vor Augen führen. Man überzieht (Abb. 72) einen Gips-

kristall mit Paraffin oder Wachs und setzt in die Mitte der überzogenen Fläche eine Nadel auf, die von einer Flamme erwärmt wird. Alsdann erfolgt das Schmelzen des Paraffins nicht gleichschnell nach allen Richtungen, also nicht in Kreisbahnen oder räumlich in Kugelbahnen, sondern nach den verschiedenen Richtungen hin verschieden schnell, bei der Abb. 72 in Form einer Ellipse.

Für die *Schmelzbarkeit* der Mineralien vor dem Lötrohr, die besonders früher als Anhaltspunkt zur Bestimmung diente, hat F. v. Kobell eine Skala aufgestellt: Antimonglanz, Natrolith-Almandin, Strahlstein, Adular, Bronzit, Quarz, also von leichter bis schwerster Schmelzbarkeit.

Nur wenige Mineralien, wie Magneteisen, Magnetkies, Meteoreisen u. a. zeigen *Magnetismus*. Interessant ist, daß z. B. das Eisen bei Rotglut seinen Magnetismus fast vollständig verliert.

Von den elektrischen Eigenschaften sei erwähnt die *Pyroelektrizität* (pyr = das Feuer), die durch Erwärmen bzw. Abkühlen von Mineralien wie Turmalin, Borazit, Kieselzinkerz, Topas entsteht. Die Elektrizität häuft sich z. B. beim Turmalin an den beiden Endflächen (Polen) an, so daß diese entgegengesetzt geladen sind (Abb. 73). Der Nachweis der elektrischen Ladung gelingt leicht durch Aufstreuen eines Pulvers aus roter Mennige und gelbem Schwefel. Letzterer geht, weil er selbst durch Reiben — in diesem Falle schon durch das Aufstäuben — negativ elektrisch wird, an das positiv geladene Ende des Kristalls. Bei der Mennige ist es umgekehrt.

Weiteres Interesse erregt die außerordentlich interessante und für die drahtlose Telegraphie wichtige Erscheinung der *Empfindlichkeit mancher Mineralien*, wie Eisenkies, Molybdänglanz und zahlreicher anderer *gegen elektrische Wellen*; auch die Pyramidenflächen des Zinnsteins sind vorzügliche Detektoren (detegere = aufdecken, anzeigen) elektrischer Wellen.

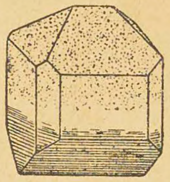


Abb. 73. Pyroelektrischer Kristall

Den einfachsten, allerdings für die praktische Verwendung in der Funkentelegraphie nicht besonders zuverlässigen Detektor erhält man, wenn man eine Graphitspitze (z. B. Bleistifteinsatz Nr. 2) auf ein Blättchen von Bleiglanz, das von einem größeren Kristall heruntergespalten ist, unter mäßigem Druck aufsetzt. Trifft eine elektrische Welle auf die Berührungsstelle, so wird diese erhitzt, und es entsteht ein elektrischer Strom, ein sog. Thermostrom (thermos = die Wärme), den man in einem sehr empfindlichen Telephonhörer als Knacken wahrnehmen kann. Ein ankommender kurzer und nachfolgender längerer Wellenzug (Punkt und Strich, das Morsezeichen für den Buchstaben a) wird dann ebenso zu hören sein.

Sechzehnter Abschnitt. Chemische Mineralogie

Chemische Mineralogie. Die Mineralien bestehen aus einfachen Grundstoffen (Elementen) oder aus mehreren Grundstoffen, die nach den Gesetzen der Chemie zu chemischen Verbindungen vereinigt sind[1]. Nur ein kleiner Teil der Elemente kommt in der Natur rein oder, wie man sagt, in gediegenem Zustande vor (Gold, Silber, Kupfer, Schwefel, Kohlenstoff als Diamant oder Graphit). Die meisten Mineralien sind chemische Verbindungen. Die Ermittelung ihrer Zusammensetzung ist eine der wichtigsten Aufgaben der Kristallchemie. Durch einfache Formeln vermag man die chemische Zusammensetzung in außerordentlich einfacher Weise auszudrücken. Die Formel gibt nicht nur an, welche Elemente in der Verbindung enthalten sind, sondern zugleich auch in welchem Mengenverhältnis sie sich vorfinden. Kochsalz (Steinsalz) hat z. B. die Formel NaCl, das bedeutet: im Kochsalz ist ein Atom Chlor (Cl) mit einem Atom Natrium (Na) oder es sind 23,00 Gewichtsteile Natrium mit 35,46 Gewichtsteilen Chlor zu 58,46 Gewichtsteilen Natriumchlorid oder Kochsalz verbunden. Es ist hier nicht möglich, auf die Gesetze einzugehen, die zur Bestimmung der Formeln geführt haben. Erwähnt sei nur, daß man mit äußerst kleinen Mengen von Mineralien unter dem Mikroskop sehr genaue Bestimmungen aller der Stoffe, die das Mineral zusammensetzen, vornehmen kann (Mikroanalyse, mikros = klein, analyein = auflösen). Besonders bei wertvollen Stoffen ist diese Untersuchung von außerordentlicher Bedeutung.

Man hat sich schon seit langer Zeit eine Vorstellung davon zu machen versucht, wie die einzelnen Atome in den Mineralien angeordnet

[1] Grundstoffe oder Elemente nennt man solche Stoffe, die sich durch chemische Operationen nicht weiter trennen lassen. Sie bestehen entweder in ihren kleinsten Teilchen aus einfachen Atomen oder aus Atomgruppen (Molekülen). Man hat das Gewicht eines Atoms sogar zu messen gelernt, gewöhnlich aber braucht man nur das Verhältnis des Gewichtes zum Gewichte des Wasserstoffs. Die Atomgewichte fast aller Elemente sind bekannt. Es gibt deren z. B. gegen 92, 5 weitere sind noch zu entdecken.

liegen und hat daraus sog. Strukturformeln aufgestellt. Die wahre räumliche Lage der kleinsten Bausteine, der Atome, in den Mineralien zu ermitteln, ist erst in neuester Zeit mit Hilfe der Röntgenstrahlen gelungen (vgl. S. 38).

Bildung der Mineralien. In der Natur und im Laboratorium entstehen die Mineralien auf verschiedene Weise: Die einen beim Abkühlen geschmolzener Massen, also aus dem Schmelzfluß, andere aus Lösungen, manche dadurch, daß ein Dampf sich abkühlt (Sublimation, sublimatum = das Emporgestiegene), viele entstehen auch durch Reaktionen (Umwandlungen) bereits fest gewordener Stoffe. Man spricht dann von „Umstehen".

Fast sämtliche Mineralien, die man in den Gesteinen, welche ehemals glutflüssig waren (Eruptivgesteine, erumpere = emporbrechen), als Gemengteile findet, sind Bildungen aus eben dem feurig flüssigen Schmelzfluß. Das bekannteste Beispiel dafür sind die Lavaströme, die sich aus den Vulkanen ergießen. Nach dem Abkühlen findet man in der Lava oder in vollkommen zerblasener Lava, den vulkanischen Tuffen eingebettet die schönsten Mineralien, z. B. prächtige Augite oder rundliche Leuzitkristalle (Abb. 15, 21) vor. Zu allen Zeiten haben solche vulkanische Ergüsse stattgefunden sowohl oberirdisch in Form von gewaltigen Decken oder Vulkanbergen als auch unterirdisch in Form von mehr oder weniger unregelmäßigen Stöcken. Auch untermeerische Ergüsse sind aus früheren Erdperioden häufig bekannt und finden z. B. jetzt noch im Stillen Ozean statt. Bei der Erstarrung wurden außer den schon genannten Mineralien ausgeschieden z. B. Hornblenden, Glimmer, Feldspate und Quarze.

Auf **nassem Wege** haben sich wohl fast alle in Hohlräumen, Drusen, Spalten und Klüften der Gesteine vorkommenden Mineralien gebildet. Auch die Erze sind in Form der Erzgänge und Erzlager zum größten Teile aus wäßriger Lösung (oft durch chemische Umsetzungen) abgeschieden worden, so z. B. die vielen Erzgänge im Harz, die Rot- und Brauneisenerzlager des Lahn- und Dillgebietes, die Zinkerze Oberschlesiens, die Manganerze von Gießen. Eine solche Bildungsweise kann man jederzeit in der Natur beobachten. So entstehen der Kalksinter in Höhlen durch Entweichen der Kohlensäure aus dem kalkhaltigen Wasser oder Kieselsinterbildungen in den Geysiren Islands und Nordamerikas (Yellowstone Park). Auch durch wechselseitige Umsetzungen, wenn in den vielverzweigten Klüften Gewässer mit verschiedenartigen Stoffen aufeinandertreffen, erfolgen Neubildungen; so entstehen durch Zusammenfließen von Lösungen aus kohlensaurem Kalk und schwefelsaurem Kupfer der schwerlösliche Gips, sowie der grüne Malachit. Es ist ein Verdienst des berühmten Chemikers Robert Bunsen (1861), hervorgehoben zu haben, daß ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Lösung und Schmelze nicht besteht. Eine Schmelze ist eine Lösung von hoher Temperatur, der geschmolzene Stoff ist sein eigenes Lösungsmittel, genau wie in einer wäßrigen Lösung z. B. sowohl der Stoff als gelöster Körper und das Wasser als Lösungsmittel, als auch umgekehrt das Wasser als gelöster Stoff angesehen werden können. Die Stoffe halten sich gegenseitig in Lösung, deshalb ist es vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus berechtigt, Lösungen und Schmelzen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zu betrachten.

Die größten Lösungen sind die Meere. Aus ihnen setzen sich hauptsächlich durch die Tätigkeit der Organismen im Laufe der Zeit Sedimente (sedere = sich absetzen) ab. Die Organismen verstehen es, die geringen Mengen von Karbonaten und Kieselhydraten (Verbindungen der Kohlensäure mit Metallen bzw. der Kieselsäure mit Wasser) aus dem Meerwasser zur Bildung ihrer Hartteile herauszunehmen. Es sei erinnert an die Bildung des marinen (mare = das Meer) Kalksteins, Muschelkalks, Korallenkalks, der Kreide aus den Resten der Muscheln, Schnecken, Korallen, Würmer, sowie der winzigen Gehäuse von Urtieren (Foraminiferen) und des Süßwasserkalkes durch Tätigkeit bestimmter Pflanzen sowie der Opalausscheidung der Radiolarien (Urtiere des Meeres) und Diatomeen (niedrigste, nur mikroskopisch erkennbare Pflanzen).

In Deutschland hat im Laufe der geologischen Zeiten ein mannigfaches Überfluten und wieder Zurückweichen des Meeres stattgefunden. Allmählich ist eine Gesteinsdecke über die andere gebreitet worden, oftmals wiederum verändert, gefaltet und verbogen durch Bewegungen der Erdkruste und durch vulkanische Durchbrüche (vgl. den Abschnitt: Aus der Vorzeit der Erde). In besonders großartigem Maßstabe fand eine solche Überflutung nach der Steinkohlenzeit zur Zechsteinzeit statt. Durch allmähliches Verdunsten des Meerwassers und gleichzeitiges Absinken des Meeresbodens infolge unbekannter Kräfte konnten sich die mächtigen Lager von Steinsalz mit Anhydrit, Gips und den für die Landwirtschaft so wertvollen Kalisalzen bilden, deren Abbau uns vor dem Kriege ein Weltmonopol schaffte und vielen Tausenden von Menschen unmittelbar oder mittelbar Brot und Nahrung bringt.

Viel seltener haben sich Mineralien auf dem **Wege der Sublimation** (sublimare = emporsteigen) gebildet im unmittelbaren Anschluß an die Erstarrungsvorgänge der glutflüssigen Gesteinsmassen, der Magmen (magma = zäher Teig). Die entweichenden Gase: Wasserdampf, Kohlendioxyd, Chlor, Natrium-, Ammonium-, Eisen- und Schwefeldämpfe schlagen sich sogleich kristallin nieder (Schwefelblumen) oder setzen sich miteinander um zu Kochsalz, Salmiak,

Eisenglanz, die in Form von Ausblühungen vielfach die Kraterwände der Vulkane bedecken und in den verschiedensten Farben vom blendendsten Weiß bis zum blutigen Rot leuchten. Vollzieht sich der Erstarrungsvorgang in der Tiefe, z. B. an granitischen Massen, so entweichen die Gase aus Spalten und Klüften, zersetzen das Nebengestein und veranlassen die Bildung typischer sog. pneumatolytischer Mineralien (pneuma = der Hauch, lyein = lösen), wie Topas, Turmalin, Zinnstein u. a.

Endlich können sich Mineralien noch durch Umwandlung anderer bereits fertig gebildeter fester Stoffe neu bilden. Man spricht dann von Umstehen. Es ist jedem Fachmanne bekannt, daß Gläser im Laufe der Zeit entglasen, also trüb und schließlich undurchsichtig werden; amorphe Niederschläge im chemischen Laboratorium stehen in kristalline um. Auch in der Natur hat sich im großen Maßstabe diese Erscheinung an vielen gallertartigen amorphen (kolloidalen) Verwitterungserzeugnissen vollzogen. Begünstigt wird diese Umgruppierung aus unregelmäßig amorpher Lage der Stoffteilchen durch eine Erhöhung der Temperatur (vgl. S. 9).

Ein Umstehen ist auch der Übergang einer Erscheinungsform (Modifikation; modificatio = die Abänderung) eines Stoffes in eine andere, worüber später berichtet wird.

Verwitterung. Die Mineralien, welche auf die geschilderte Weise entstanden, sind wieder der Einwirkung der auf und in der Erde zirkulierenden Gewässer, der Luft und insbesondere der Kohlensäure, gegebenenfalls auch Aushauchungen (Exhalationen; exhalatio = die Aushauchung) der Vulkane ausgesetzt und fallen dadurch mehr oder minder leicht der Zersetzung und Umwandlung, die man zusammen als Verwitterung zusammenfaßt, anheim. Manche, z. B. der Quarz, leisten den kräftigsten Widerstand und bleiben deshalb so frisch, als ob sie gestern entstanden wären, andere wieder, wie z. B. die Feldspate, der Olivin, Leuzit und Nephelin, vor allem alle Kiese und Erze, werden leicht zersetzt. Es gibt hier bei den Mineralien ebenso ein Entstehen und Vergehen wie im Reiche der organischen Geschöpfe auf der Erde. Diese selbst können nur dadurch leben, daß Mineralien zerstört werden. Auf der Verwitterung der Feldspate und verwandter Mineralien beruht die Bodenbildung, also die Ton-, Mergel- und Lehmbildung, die einen geeigneten Nährboden für die Pflanzen abgibt. Auf Quarzboden, steinigem Boden wächst und gedeiht nichts. Von den Pflanzen nähren sich die Tiere. So kann man sagen, daß ohne die Verwitterung der Mineralien kein hochorganisiertes Leben möglich ist.

Kontakt- und Regionalmetamorphose. Es handelt sich hier um eigenartige Stoffwandlungen, die sich an der Grenze feurig-flüssiger Schmelzflüsse gegen die umgebenden Gesteine abspielen. So sind vielfach Granitmassive, wie der Brocken im Harz, der Eibenstocker, Lausitzer Granitstock in Sachsen von einer umgewandelten Hülle des Nebengesteins, einem „Kontakthof" (contactus = die Berührung) umgeben. Die Umwandlung gibt sich darin kund, daß z. B. ein Tonschiefer (wie er in bester Beschaffenheit als Dachschiefer Verwendung findet) beim Heranrücken an das ehemals glutige Magma infolge Neubildung von Glimmerschüppchen bedeutend glänzender wird und beim weiteren Heranrücken ganz eigenartige Mineralneubildungen in Form von Flecken und Knoten, getreidekörnerähnlichen Früchten sowie von kleinen garbenähnlichen Gebilden in Unmengen zeigt. In der letzten Zone, also unter Umständen noch einige hundert Meter von dem Eruptivgestein entfernt, verschwindet die Schieferstruktur ganz und ein vollkommen umkristallisierter „Hornfels" von äußerster Zähigkeit ist dafür vorhanden.

Während sich in diesen Fällen die genannten Veränderungen doch nur auf eine ca. 1—2 km breite Zone beschränken, ist die Erscheinung der Regionalmetamorphose (regio = die Gegend, metamorphosis = die Umwandlung; also Umwandlung der Gesteine in tieferen Zonen der Erdrinde) von der gewaltigsten naturgeschichtlichen Bedeutung. Die aus Eruptiv- und Sedimentgesteinen neu entstandenen Gesteine heißen kristalline Schiefer. Ihre wichtigsten Typen sind Gneis, Glimmerschiefer und Phyllite, die in allen alten Gebirgen Deutschlands wie dem Erzgebirge, Thüringerwald, dem Fichtelgebirge, böhmisch-bayrischen Wald und an zahlreichen anderen Stellen unseres Vaterlandes gesammelt werden können. Man hat in ihnen die Urgesteine, die „archäischen" Gesteine der ältesten Erdschichten, die die meisten Umgestaltungen erlebt haben, vor sich. Die neuesten Anschauungen denken sie als eine Art Kontakthof ungeheurer Massive in großer Erdtiefe. So ist man der Ansicht, daß sich unter ganz Deutschland ein solches Granitmassiv hinzieht, dessen Kontakthof die in kristalline Schiefer umgewandelten Eruptiv- und Sedimentgesteine des Erzgebirges, die Gneise des Fichtelgebirges, des Thüringer Waldes und zahlreicher anderer Stellen sind.

Siebzehnter Abschnitt. Beziehungen zwischen den chemischen, physikalischen und geometrischen Eigenschaften der Kristalle

1. Vorhandensein (Existenz) mehrerer Erscheinungsformen ein und desselben Stoffes

Polymorphismus oder Vielgestaltigkeit (polys = viel, morphe = die Gestalt) nennt man die Erscheinung, daß ein und dasselbe chemische Element oder dieselbe Verbindung in verschiedener Kristallform und mit verschiedenen physikalischen Eigenschaften vorkommt. Gewöhnlich hat eine Substanz nur die Fähigkeit, in zwei wesentlich verschiedenen Gestalten, Erscheinungsformen oder Modifikationen (modificatio = die Abänderung) aufzutreten, seltener in drei oder noch mehr; man spricht dann von Dimorphie, Trimorphie (dis = zweifach, tris = dreifach) und Polymorphie. Als ausgezeichnetes Beispiel in der Hinsicht sei erwähnt das Element Kohlenstoff. Es kristallisiert dimorph; regulär als Diamant, spez. Gew. 3,55; trigonal als Graphit, spez. Gew. 2,30. Zugleich ist es das deutlichste Beispiel dafür, wie weit die Verschiedenheit der physikalischen Eigenschaften gehen kann: als Diamant ist der Kohlenstoff farblos, durchsichtig und klar, einer der härtesten Körper, ein Nichtleiter der Elektrizität; als Graphit dagegen schwarz, undurchsichtig, sehr weich, ein guter Leiter der Elektrizität. Ein weiteres Beispiel, an dem die Erscheinung der Dimorphie zuerst entdeckt wurde, ist der kohlensaure Kalk $CaCO_3$. In trigonaler Form kristallisiert er als Kalkspat, in rhombischer als Aragonit (Aragonien = Spanien). Trimorph, dreigestaltig, ist die Substanz TiO_2 Titandioxyd, sie erscheint in Form des Rutil und Anatas tetragonal, in der des Brookits rhombisch. Vom Schwefel kennt man bis jetzt fünf Erscheinungsformen oder Modifikationen, vom Siliziumdioxyd SiO_2 gar sechs (α-Quarz, β-Quarz, α-Tridymit, β-Tridymit, α-Cristobalit, β-Cristobalit).

Es ist von Interesse, die wechselnden Modifikationen desselben Stoffes miteinander zu vergleichen. Dabei zeigt sich, daß trotz äußerlicher Verschiedenheit oftmals doch gewisse Anklänge vorhanden sind. So bei Kalkspat und Aragonit. Bei dem in Abb. 74a gezeichneten Kristall bilden die vertikalen Säulenflächen einen Winkel von 120°, beim Aragonit treten ebensolche Flächen auf mit einem Winkel von 116° 12′, also eine bemerkenswerte Annäherung. Auch in physikalischer Hinsicht herrscht eine gewisse Nachäffung oder Mimesie (mimesis = die Nachahmung) des Arogonits an das trigonale System insofern, als der Winkel seiner optischen Achsen sehr klein ist, also sich dem optisch-einachsigen Kalkspat, der demnach einen Achsenwinkel von 0° hat, schon sehr nähert. In noch bemerkenswerterer Weise ist diese Nachäffung beim Borazit vorhanden, einem Mineral, das in unseren deutschen Kalisalzlagerstätten außerordentlich verbreitet ist. Der rhombische Borazit bildet durch vielfache Zwillingsbildung so nahe reguläre oder isometrische (isos = gleich, metron = das Maß) Kristalle, daß man äußerlich keinen Unterschied gegenüber der anderen regulären Abart bemerken kann. Wie man sieht, gibt es also alle möglichen Abstufungen im Bau der polymorphen Körper, und der alte Satz, daß die Natur keine Sprünge macht, wiederholt sich auch hier.

Jede Modifikation eines Stoffes existiert nur bei einem bestimmten Drucke innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches, so z. B.

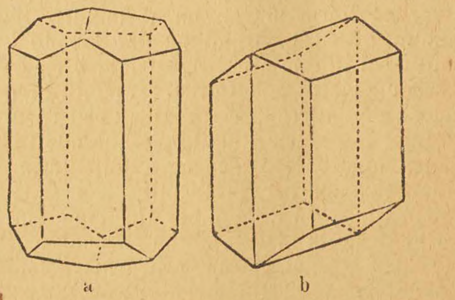


Abb. 74. Dimorphismus der Substanz $CaCO_3$. a Kalkspat, b Aragonit

ist das Eis unter 0° nur bei einem Druck von 1 Atmosphäre beständig. Bei Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur wandeln sich die Modifikationen ineinander um. Erhitzt man z. B. Aragonit, den wir schon als Eisenblüte auf dem steirischen Erzberg kennen gelernt haben (siehe S. 8) auf etwa 400°, so verwandelt er sich plötzlich in Kalkspat. α-Quarze von sechsseitiger oder hexagonaler Form (vgl. Abb. 16), die bei hoher Temperatur als Einsprenglinge in porphyrischen Ergußsteinen, z. B. den Quarzporphyren des Thüringer Waldes, Niederschlesiens oder Sachsens gebildet wurden, wandelten sich beim schnellen Abkühlen des glutflüssigen Gesteinsbreies bei 575° plötzlich in die bei niedriger Temperatur beständige β-Art um. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, daß sie bei dem plötzlichen Ruck, der durch das Kristallgebäude hindurchging, in Stücke zersprungen sind.

Der Nachweis, daß eine Kristallart sich plötzlich in eine andere umwandelt, geschieht in der Praxis außer durch Beobachtung der Veränderung der Kristallformen durch die Beobachtung des sprungweisen Wechsels der Eigenschaften. Besonders augenfällig ist ein Versuch mit dem roten Quecksilberjodid, einer Verbindung aus Quecksilber und Jod. Streicht man ein Blechgefäß mit dieser Substanz an, so wechselt seine rote Farbe

beim Einschütten kochenden Wassers plötzlich ins gelbe. Gießt man wieder kaltes Wasser ein, so kehrt die rote Farbe zurück. Derartige Substanzen werden in der Technik häufig verwendet. Man hat z. B. auch vorgeschlagen, Lager von rasch rotierenden Wellen an Transmissionen oder Motoren damit zu bestreichen, um an dem Farbumschlag ein etwaiges Heißlaufen zu erkennen.

Der Modifikationsumschlag läßt sich auch auf magnetischem Wege, z. B. sehr einfach am reinen Eisen zeigen. Ein glühender Nagel wird nicht mehr vom Magneten angezogen, denn das bei etwa 800° entstehende β-Eisen ist unmagnetisch. Ein Wechsel der Modifikationen läßt sich auch an der entstandenen Wärme oder Abkühlung wahrnehmen und hat zu Beobachtungsmethoden geführt, die für physikalisch-chemische Arbeiten und damit für viele Zweige der Metallgewinnung von außerordentlicher Wichtigkeit sind. Man beobachtet dabei z. B. nur mit einem elektrischen Thermometer den Verlauf der Abkühlung und merkt an jeder Unregelmäßigkeit sofort den Eintritt eines neuen Zustandes. Das elektrische Thermometer ist also eine wunderbare Erweiterung unserer Sinne.

2. Gleichgestaltigkeit oder Isomorphismus

Besser bezeichnet man diese Erscheinungen als „Ähnlichgestaltung" (isos = gleich, morphe = die Gestalt). In den ersten Zeiten der Mineralogie erregte es das Staunen der Chemiker, wenn ein Mineralkundiger einfach aus der bekannten Kristallform sofort einen ihm unbekannten Stoff hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung bestimmen konnte, was sonst nur durch schwierige und umständliche chemische Analyse gelang. Hauy, der Begründer der modernen Mineralogie, hatte hierin besondere Fähigkeiten, und er meinte, daß jede chemisch verschiedene Substanz ihre ganz bestimmte Ausbildungsform besäße, an der man sie also erkennen könnte. Daß diese Tatsache in so allgemeiner Form nicht zutrifft, wurde von F. E. Mitscherlich im Jahre 1819 gezeigt. Er studierte besonders die in der Natur vorkommenden Verbindungen des Phosphors und des Arsens. Dabei machte er die höchst wichtige Entdeckung, daß chemisch ähnliche Substanzen auch eine ähnliche Kristallform besitzen und er konnte aus Messungen an Kristallen nun umgekehrt die damals noch unsicheren Atomgewichte korrigieren. Seitdem ist diese eben als Isomorphismus bezeichnete Erscheinung vielfach untersucht worden. Neuerdings nennt man isomorphe Substanzen solche, die folgende Eigenschaften haben:

1. chemische Ähnlichkeit,
2. ähnliche Kristallform, also entsprechenden verwandten Aufbau aus kleinsten Teilchen,
3. die Fähigkeit besitzen, zu einheitlichen Kristallen, den Mischkristallen, zusammenzukristallisieren.

Beispiele sind die Reihe der sog. „rhomboedrischen Karbonate": Kalkspat oder Marmor ($CaCO_3$), Magnesit ($MgCO_3$), Eisenspat oder Spateisenstein ($FeCO_3$, Manganspat oder Himbeerspat ($MnCO_3$), Zinkspat oder Galmei ($ZnCO_3$). Der Name Spat rührt von der guten Spaltbarkeit aller dieser Mineralien her. Sie gehören alle zum gleichen chemischen Typus, d. h. es sind kohlensaure Salze abgeleitet aus der Kohlensäure (H_2CO_3) durch Ersetzung des Wasserstoffes durch die Metalle Ca, Mg, Fe, Mn, Zn.

Wie man sieht, ist die chemische Ähnlichkeit vollkommen. Ebenso aber auch die kristallographische. Die Rhomboeder (vgl. S. 18), die man durch Spaltung der Kristalle der einzelnen Substanzen erhält, weichen in ihren Winkelverhältnissen nur wenig voneinander ab. Auch die dritte Bedingung des Zusammenkristallisierens ist in dieser Reihe gut erfüllt. Im Eisenspat wird oft ein Teil des Eisens durch Mangan vertreten. Die dadurch entstehenden Erze sind sehr wertvoll und besonders zur Herstellung von Manganstahl gesucht. Im Siegerlande bauen Gruben dieses wertvolle Erz ab. Andere derartige isomorphe Mischungen sind im Mineralreich außerordentlich weit verbreitet.

Fast alle Kristalle enthalten solche isomorphen Beimengungen, was oft bei der Ermittelung der chemischen Zusammensetzung, der chemischen Analyse recht unerwünscht ist. Zum eingehenden Studium der Mischkristalle bedient man sich nach dem Vorgange von Bakhuis Roozeboom in der Praxis graphischer Darstellungen, man trägt also ganz ähnlich wie bei der Aufzeichnung der Luftdruckkurven durch ein selbsttätig schreibendes Barometer (siehe Physik!) die Zusammensetzung Punkt für Punkt ein und kann daraus viel mehr ersehen, als lediglich aus den Zahlenangaben.

Von größtem theoretischen wie praktischen Interesse nämlich sind die Eigenschaften der Mischkristalle. Es zeigt sich, daß sie sich keineswegs in einfacher Weise aus denen der Endglieder ableiten, sondern oft eine Eigenschaft in besonders ausgeprägtem Maße zeigen. Vor allem weisen die Legierungen, d. s. Mischkristalle von Metallen, große diesbezügliche Unterschiede auf. Im Münzwesen ist es eine altbekannte Tatsache, daß z. B. das weiche Gold mit dem weichen Kupfer legiert, eine sich im Verkehr nur wenig abnutzende harte Münzsorte ergibt, eine ähnliche Legierung ist die Bronze, die in früheren Zeiten durch ihre Härte und Zähigkeit als Geschützmaterial berühmt war und schon in vorgeschichtlicher (prähistorischer, prae = vorher, historia = die Geschichte) Zeit zur Herstellung von Waffen und Geräten des täglichen Lebens diente. Auch die elektrische Leitfähigkeit ist für gewisse Legierungen viel geringer als für die sie zusammensetzenden Einzelstoffe oder Komponenten (componere = zusammensetzen). In der Elektrotechnik benutzt man deshalb Mischungen

aus z. B. Nickel, Kupfer, Mangan u. a., die als Manganin, Konstantan, Nickelin usw. bekannt sind, als Material für Widerstandsdrähte. Vor allem ist charakteristisch, daß der Schmelzpunkt von Mischkristallen in der Regel niedriger ist als der der Endglieder. In der Praxis benutzt man diese Eigenschaft durch Einbringen von „Zuschlägen" in die zu schmelzende Masse. Als Kuriosum sei erwähnt die sog. Woodsche Legierung aus Cadmium, Wismut, Zinn und Blei bestehend, die schon in 70° warmem Wasser schmilzt und zur Herstellung von „Vexierlöffeln" dient. Ebendorthin gehört das Schnellot der Klempner (5 Gewichtsteile Zinn, 1 Gewichtsteil Blei). Eine unendliche Fülle von Tatsachen aus der zahnärztlichen Praxis (Metall- und Porzellanplomben), der Glas- und Metallhütteninduſtrie mit den Unsummen von optischen Glassorten und den für alle möglichen Erwerbszweige eigens angefertigten Metallegierungen, besonders den in dem letzten Jahrzehnt stark verwendeten Aluminiumlegierungen (Duraluminium, Magnalium) ließe sich hier anführen.

Die ganze Eiseninduſtrie beruht auf der – man muß auch hier wieder sagen — unendlich mannigfachen Möglichkeit, die Metalle Eisen sowie Chrom, Nickel, Mangan u. a. mit dem Kohlenstoff zu legieren. Deutschlands Eisenindustrie im besonderen hat sich ihre hervorragende Stellung in der Welt nur dadurch erobert, daß sie mit wissenschaftlicher Gründlichkeit und zäher Ausdauer an die Aufgabe heranging, erst einmal die Gesetze, die auch in diesem Reiche der Natur herrschen müssen, zu ergründen, um danach die vom praktischen Leben gestellten Aufgaben zu lösen.

Das Verhalten der Mischkristalle gegenüber den Lichtstrahlen, also ihre optischen Eigenschaften spielen in der Gesteinsuntersuchung eine große Rolle. Durch einfache Messungen im Polarisationsmikroskop erhält man sehr schnell Angaben über den chemischen Aufbau der Gesteinsbestandteile und damit wieder über die Bedingungen, unter denen die Gesteine entstanden sind.

Achtzehnter Abschnitt. Feinbau der Kristalle

1. Geschichtliches. Die auffällige Regelmäßigkeit der Kristalle, ihre Begrenzung durch ebene Flächen und scharfe Kanten, führte schon frühzeitig zu der Vorstellung ihres Aufbaues aus kleinsten gesetzmäßig orientierten Teilchen. Schon der Holländer Christian Huyghens (1629 bis 1695) konstruierte im Anschluß an seine kristalloptischen Studien ein Sinnbild der Struktur des Kalkspates aus Haufen von kleinen, kugelartigen Körperchen[1]). Doch stand dieser geniale Physiker mit seiner Idee allein da, erst 100 Jahre später wurden die Strukturbilder durch den Begründer der modernen Kristallographie, den Franzosen René Just Haüy (sprich A-ü-i) (1743—1822) wieder aufgenommen. Das Studienobjekt Haüys war ebenfalls der Kalkspat, der durch seine Formenmannigfaltigkeit (vgl. Abb. 27) sich zur Beobachtung besonders eignete. Haüy erkannte, daß aus jeder noch so wechselnden Gestalt, gleichsam als Kerngestalt sich ein Rhomboeder herausspalten ließ, und er gelangte so zu der Annahme, daß sich der ganze Kristall aus solchen unmeßbar kleinen Rhomboedern aufbaue. Mit ihrer Hilfe lassen sich alle möglichen Kristallgestalten ableiten. Wenngleich diese Vorstellung lange Zeit mit gutem Grund als ein ausgezeichnetes erstes Sinnbild der Kristallstruktur geschätzt wurde, mußte sie doch später als unhaltbar fallen gelassen werden, da mit dem Gedanken einer lückenlosen Raumerfüllung die Tatsache der Zusammendrückbarkeit der Körper nicht vereinbar ist.

Der französische Mathematiker und Kristallograph A. Bravais ersetzte deshalb die Haüyschen Primitivkörper durch die Moleküle und nahm an, daß deren Schwerpunkte nach den drei Richtungen oder Dimensionen des Raumes sich wiederholend oder periodisch (periodos = der Umlauf) angeordnet sind. Man spricht deshalb von Raumgittern.

2. Eigenschaften der Raumgitter. Abb. 75 stellt ein solches dar. Wer sich von den Raumgittern eine richtige Vorstellung machen will, der tut gut, sich ein solches aus Stricknadeln und Korkkugeln selbst einmal aufzubauen. Charakteristisch ist, daß in jedem Punkte des unendlich weit ausgedehnt zu denkenden Kristallgitters die Verteilung der Nachbarpunkte die gleiche ist. Schreitet man von einem Punkte aus längs einer geraden Linie durch die Gitterpunkte, also längs einer Gitterlinie fort, so wiederholen sich die getroffenen Teilchen oder Partikel (particula = Verkleinerungsform von pars = der Teil) in gleicher Periode, wie z. B. Perlen auf eine Schnur aufgereiht sind. Die teils ausgezogenen, teils gestrichelten Linien der Abb. 75 sind solche Gitterlinien oder Atomreihungen. Ebenso kann man

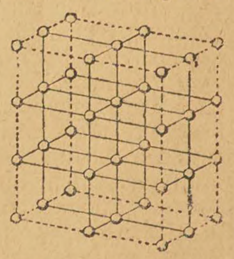


Abb. 75. Raumgitter

[1]) Die interessante Schrift von Huyghens ist durch den Chemiker Wilh. Ostwald in seinen „Klassikern der Naturwissenschaften" einem weiteren Kreise zugänglich gemacht worden.

auch Ebenen durch die Gitterpunkte legen, sog. Netzebenen oder Gitterebenen, z. B. bei dem gezeichneten Gitter 3 Ebenen entsprechend der Vorder-, Seiten- und oberen Ebene. Schließlich lassen sich die Raumgitter durch Verknüpfung von Punkten in Quadern oder Parallelepipede zerlegen.

3. Der Nachweis des Raumgitterbaues der Kristalle durch das Experiment von M. von Laue. Lange hatte die Raumgittervorstellung nur hypothetisches Interesse (hypothesis = die Voraussetzung, Annahme), da man die Gitterstruktur auch mit den besten Mikroskopen nicht sehen kann. Man muß sich nur vergegenwärtigen, daß die Teilchen außerordentlich klein sind und ihre Abstände noch tausendmal geringer sind als die Wellenlänge des gewöhnliches Lichtes beträgt. Die Teilchen können also auf die großen Lichtwellen nicht wirken, ebensowenig wie ein Kork, der auf einer Wasserwelle schwimmt, auf diese wirken kann Da kam 1912 der deutsche Physiker M. von Laue auf den Gedanken, die Röntgenstrahlen zu benutzen. Der von seinen Schülern P. Kipping und W. Friedrich ausgeführte Versuch zeigte, daß die Kristalle für die Röntgenstrahlen als Beugungsgitter wirken, genau so wie ein künstlich geritztes Gitter für das gewöhnliche Licht. Um diese Erscheinung zu verstehen, sei folgender Versuch angeführt, den jeder nachahmen kann: man blickt mit fast geschlossenem Auge nach einer in etwa 1 m Entfernung aufgestellten brennenden Stearinkerze. Es zeigt sich im Auge nicht das Bild der Kerze, sondern eine Reihe von senkrecht stehenden farbigen Streifen, in denen wir die Regenbogenfarben wiedererkennen. Ein solches farbiges Band heißt Spektrum. Man kann auch durch den Rand einer Vogelfeder hindurchschauen und die gleichen farbigen Streifen in mehrfacher Wiederholung beobachten. Die Erscheinung erklärt sich so: das von der Kerze ausgehende Licht trifft auf die Augenwimpern oder die Hornstäbchen der Feder, geht nun aber nicht etwa ganz geradlinig weiter, sondern biegt oder beugt sich etwas um die Kanten herum, so daß auch ein Teil des Raumes, der eigentlich vom Licht verdeckt sein sollte, erleuchtet wird. Nimmt man ein farbiges Licht, etwa gelbes oder rotes, so erscheinen auch nur einfarbige Streifen. Weil in dem weißen Licht alle möglichen Farben enthalten sind, deshalb treten bei dem Versuch Farbstreifen auf. Die mathematische Erklärung dieser „Beugung des Lichtes" würde hier zu weit führen, sie läßt sich aber aus der Annahme der Wellennatur des Lichtes leicht geben.

So wie hier die gewöhnlichen Lichtstrahlen durch einen sich ihnen in den Weg stellenden Gegenstand abgelenkt werden, so werden auch die Röntgenstrahlen, also Strahlen von einer außerordentlich kurzen Wellenlänge, von den kleinsten Teilchen der Kristalle, den Atomen, in gleicher Weise von ihrem geraden Wege abgelenkt. Man kann aber die erzeugten Ablenkungen, die Spektren, nicht unmittelbar sehen, da das Auge für Röntgenstrahlen nicht empfindlich ist. Man fängt sie deshalb auf einer photographischen Platte auf. Wegen der eigentümlichen Anordnung der Atome im Kristall sind die auf der photographischen Platte entstehenden Bilder höchst mannigfaltig. Nach dem Entdecker nennt man diese Beugungsfiguren eines Kristalles ein „Lauediagramm" (Abb. 76) (diagramma = die Aufzeichnung).

Eine eigene Wissenschaft, die Röntgenspektroskopie, hat sich hierauf aufgebaut. Ihre Methoden erlauben es umgekehrt aus dem Spektrum der Kristalle auf den Gitterbau derselben zu schließen.

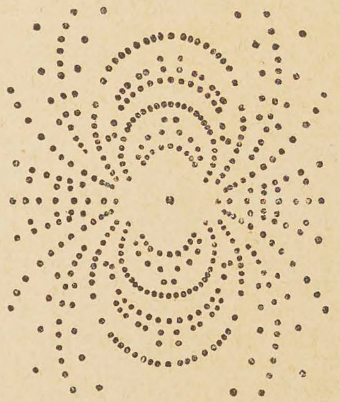


Abb. 76. Laue-Diagramm einer aus einem Anhydritkristall horizontal herausgeschnittenen Platte (nach F. Rinne)

Dieser Versuch von M. v. Laue ist der Ausgangspunkt einer außerordentlichen Entwicklung der physikalischen Naturforschung geworden. Die Wirklichkeit der Atome ist durch diesen Versuch sicher erwiesen und man ist in neuester Zeit eifrig an der Arbeit, ihre Gestalt, Größe und ihren inneren Aufbau zu erforschen. Für die Chemie ist die Erforschung dieses Mikrokosmos (mikros = klein, kosmos = die Welt) von ungeahnter Bedeutung geworden. Man wird zweifellos bald die Erfolge dieser neuen Lehre erkennen, die sich schon jetzt in dem weiteren Ausbau und in der Ausfüllung der Lücken, die bisher in dem System der Grundstoffe oder Elemente noch vorhanden waren, kundgibt. Die neueren Untersuchungen haben ergeben, daß nicht die Moleküle als solche die Ecken des Raumgitters einnehmen, sondern die Atome selbst. Die verschiedenen Atome eines Moleküls bilden jedes für sich ein Raumgitter und alle die ineinandergestellten Gitter ein sog. „Punktsystem". Dadurch werden natürlich die wirklichen Verhältnisse komplizierter als beim einfachen Raumgitter.

4. Beispiele des Feinbaues von Kristallen. Man kennt jetzt bereits eine ganze Anzahl solcher „Feinbauten", z. B. von Steinsalz (NaCl), Zinkblende (ZnS), Diamant (C), Kalkspat ($CaCO_3$) und vieler Metalle wie Eisen, Wolfram, Kupfer. Als einfaches Beispiel sei hier die Struktur des Kupfers gegeben (Abb. 77). Denken wir uns einen Würfel aus einem Kupferkristall in immer kleinere Würfel zerteilt, so kommen wir schließlich an eine Grenze, wo dies nicht mehr angängig ist. Dieser kleinste Würfel heißt der Elementarkörper. Wir sehen, daß beim Kupfer die Kupferatome die Ecken und Flächenmitten des Elementarkörpers einnehmen, es ist ein sog. „flächenzentrierter Würfel". In dem gezeichneten Würfel sind vier Atome Kupfer wirklich enthalten. Man muß sich hier nur an alle Seitenflächen des Würfels ähnliche Würfelchen angesetzt denken, was man mit kleinen Holzwürfelchen oder auch Streichholzschachteln nachahmen kann. So erkennt man sofort, daß jedes Teilchen an einer Ecke dem einen Würfel nur zum achten Teil, jedes auf der Mitte einer Fläche liegende Teilchen ihm nur zur Hälfte angehört. Infolgedessen kommen auf den Würfel $(8 \times {}^1/_8) + (6 \times {}^1/_2)$ Atome = 4 Atome. Also bilden die Atome im Kupfer kein einfaches Raumgitter, sondern auch ein zusammengesetztes Punktsystem.

In ähnlicher Weise erhält man die Struktur des Steinsalzes (NaCl) (Abb. 78), wenn man zwei solche flächenzentrierte Würfel wie Abb. 77 ineinanderstellt, daß sie um die halbe Würfelkante verschoben sind. In dem gezeichneten Elementarwürfel des Steinsalzes sind jetzt vier Moleküle Steinsalz (NaCl) enthalten. Die Punkte an den Ecken und auf den Flächenmitten haben dieselbe Zähligkeit wie beim Kupfer. Die auf den Kantenmitten zählen $^1/_4$, das Chloratom im Zentrum zählt 1, da es dem Würfel ganz angehört. Wir haben also im ganzen an Natriumatomen

$$(8 \times {}^1/_8) + (6 \times {}^1/_2) = 4 \text{ Na},$$

an Chloratomen

$$(12 \times {}^1/_4) + (1 \times 1) = 4 \text{ Cl},$$

insgesamt also 4 NaCl.

Die schwarzen Linien zerteilen das Gitter des Dreiecks in Ebenen parallel zu einer Oktaederfläche und zeigen, daß immer Schichten aufeinander folgen, die abwechselnd nur Chloratome und Natriumatome enthalten, während in den Würfelflächen beide Sorten von Atomen zugleich enthalten sind. Es ist klar, wie aus einer derartigen Verteilung der Atome die Gesetzmäßigkeiten im physikalischen und chemischen Verhalten eines solchen Kristalls sich ableiten lassen müssen.

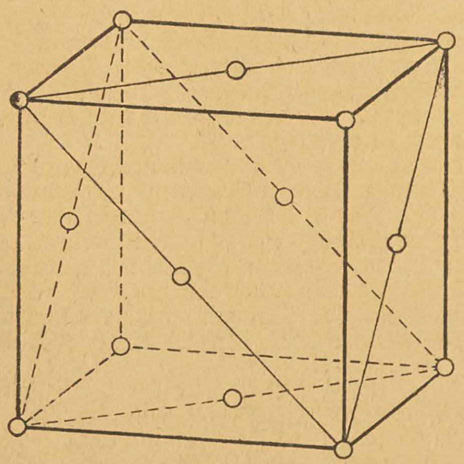


Abb. 77. Feinbau des Kupfers. Die Kreise versinnbildlichen Kupferatome

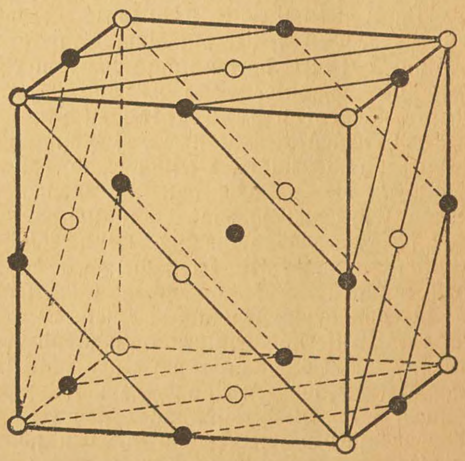


Abb. 78. Feinbau des Steinsalzes
○ = Natrium-Atome
● = Chlor-Atome.

Man hat so räumliche Formeln vor sich, die an Exaktheit nichts zu wünschen übrig lassen. Die Kantenlänge des Kochsalzwürfels berechnet sich zu rd. 6 Hundertmillionstel Zentimeter. Ein Würfel Steinsalz von 1 cm Kantenlänge enthält auf jeder Kante rd. 18 Millionen Atome, im ganzen also die ungeheure Zahl von 18 Mill. × 18 Mill. × 18 Mill., eine Zahl, mit der man an sich nichts anfangen kann. Eine gute Vorstellung von dieser unglaublichen Feinheit des Gitterbaues erhält man folgendermaßen. Die Entfernung Berlin—Konstantinopel in Luftlinie ist rd. 1700 km. Denkt man sich auf dieser Strecke Kisten von 1 m Länge, Breite und Höhe hintereinandergereiht (1,7 Mill. Stück) und läßt diese gewaltige Strecke auf 1 mm zusammenschrumpfen, so erhält man einen Anhalt für die winzig ge-

wordene Größe der Kisten, die mit der Kantenlänge des Elementarwürfels übereinstimmt.

5. **Beziehungen zwischen den Eigenschaften der Kristalle und dem Bau des Raumgitters.**

a) **Ebene Flächen und scharfe Kanten.** Man wird ohne weiteres annehmen können, daß die ebenen Flächen, die die Kristalle aufweisen, Netzebenen entsprechen, die mit Atomen besetzt sind. Die Kanten der Kristalle sind die Netzlinien, auf denen die Atome wie Perlen auf einer Stricknadel aufgereiht sind. Es ist einleuchtend, daß im allgemeinen diejenigen Ebenen beim Kristallwachstum angelegt werden, die am dichtesten mit Atomen besetzt sind, ebenso die Kanten.

Wie schon am Wechsel der Kristallform kenntlich ist, sind aber noch andere Faktoren wirksam. Leicht verständlich wird jetzt das kristallographische Grundgesetz von Hauy. Da die Atome periodisch, d. h. in vielseitiger Wiederholung angeordnet sind, im allgemeinsten Falle nach den drei Richtungen des Raumes, die wir als Achsen wählen, in verschiedener Weise, so ist der Abstand eines jeden Atoms auf einer der drei Kristallachsen ein rationales ganzzahliges Vielfaches des Grundmaßstabes, der Periode (vgl. S. 22). Jede Ebene durch drei solche auf den verschiedenen Achsen liegende Atome besitzt demnach Achsenschnitte, die rationale Vielfache der Grundmaßstäbe sind. Die Grundmaßstäbe selbst können im allgemeinen Falle und werden natürlich irrational sein, also nicht miteinander durch ein gemeinsames Maß teilbar sein, denn sie sind durch die Kräfte, Gestalt und Zahl der Atome bedingt, die das Gitter aufbauen und die wiederum von der Temperatur, dem Druck und den anderen chemischen Genossen abhängig sind. Auch das Gesetz der Winkelkonstanz (siehe S. 19) läßt sich atomistisch sehr anschaulich begründen.

b) **Schematische Erklärung des Kristallwachstums auf Grund der Raumgittertheorie.** Im Gas- oder Flüssigkeitszustand denkt man sich die Atome bzw. Moleküle einer Substanz in beständiger Bewegung etwa vergleichbar einem Mückenschwarm. Dabei kommt es natürlich recht häufig vor, daß zwei oder mehr Teilchen miteinander zusammenstoßen oder wenigstens dicht aneinander vorbeifliegen. Dann werden in beiden Anziehungskräfte geweckt, die einen Zusammenhalt der Teilchen verursachen. Es stürzt dabei keineswegs ein Teilchen auf das andere, da bei starker Annäherung wieder Abstoßungskräfte wirksam werden, gleichwie zwei elastische Kugeln nach dem Stoß wieder auseinanderfliegen. Durch die Gegenwirkung der Anziehungs- und Abstoßungskräfte werden beide Teilchen nach einigem Hin- und Herpendeln eine Gleichgewichtslage in einer bestimmten Entfernung voneinander erreicht haben. Nehmen wir ein bestimmtes Beispiel: Eine verdünnte Lösung von Kochsalz (NaCl) in Wasser (H_2O). Die physikalische Chemie lehrt, daß die Moleküle dieses Salzes weitgehend in elektrisch geladene Natrium- und Chloratome (Jonen; ion = das gehende) zerfallen sind. Die Natriumatome sind positiv geladen, die Chloratome negativ. In der verdünnten Lösung schwimmen sie aber so weit voneinander entfernt, daß ihre gegenseitige Anziehung nicht wirksam wird. Die Wassermoleküle fliegen ebenfalls in diesem Schwarm mit herum und stoßen infolge ihrer großen Menge fortwährend mit den Natrium- und Chlorionen zusammen, oft bleiben sie hängen und bilden so zusammengesetzte oder komplexe Jonen. Sie bewirken auch durch ihre Stoßkraft, daß, wenn ja einmal zwei oder mehr entgegengesetzt geladene Jonen sich vereinigt haben, diese Zusammenballung wieder zerstört wird. Diese Bewegung wird im sog. Ultramikroskop[1]) direkt beobachtet. Sie heißt nach ihrem Entdecker Brownsche Bewegung. Man sieht dabei nicht die Atome selbst, sondern größere Teilchen in beständig zitternder hin- und herpendelnder Bewegung, die durch die fortwährenden Stöße der Atome verursacht wird.

Anders als in einer verdünnten Lösung liegt die Sache in einer gesättigten oder übersättigten Lösung. Jetzt ist die Häufigkeit der Zusammenstöße der Natrium- und Chlorionen millionenmal größer, die Zusammenballungen überwiegen den Zerfall. So entstehen an vielen Stellen Kristallkeime, sog. Ultramikronen, die auf folgende Weise weiterwachsen. Es sei in der Abb. 79 a

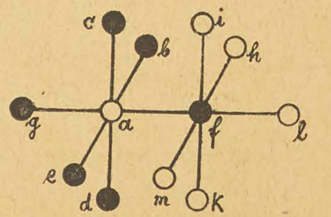


Abb. 79. Kristallwachstum beim Steinsalz
○ = Natrium-Jon
● = Chlor-Jon

ein Natriumion. Dieses hat das Bestreben, rings um sich herum 6 Chlorionen in gleichen Abständen unter rechten Winkeln festzuhalten (b c d e f g). Jedes Chlorion vermag wieder 6 Natriumionen um sich zu versammeln (a h i k l m). In dieser Weise fortfahreud, wächst der Kristall allmählich bis zu sichtbarer Größe. Im Anfang des Wachstums werden

[1]) Das Ultramikroskop ist ein solches Mikroskop, mit dem es durch besondere Beleuchtungseinrichtungen gelingt, noch kleinere Teilchen, als sie mit dem gewöhnlichen Mikroskop unter Anwendung der stärksten Vergrößerungen wahrnehmbar sind, unmittelbar zu beobachten.

durch die Stöße der Wassermoleküle diese kleinen Gebilde zwar heftig erschüttert und beständig umhergeworfen, aber sie werden doch nur ab und zu ein Jon verlieren. Das weitere Wachstum kann nun auf verschiedene Weise erfolgen:

1. durch ungestörte Neuanlagerung von Jonen. Dann erreicht der Keim bald eine solche Größe, daß ihm die Brownsche Bewegung nichts mehr anzutun vermag und er infolge der Schwerkraft zu Boden sinkt, wo er sich als aufgewachsener Kristall weiter entwickelt (vgl. Abb. 1).

2. Im anderen Falle kann das Wachstum auf verschiedene Weise erfolgen, indem mehrere kleine Kriställchen sich nachträglich zu einem größeren vereinigen. Das ist in der Natur sehr häufig der Fall: alsdann besteht ein großer Kristall aus einer oft sehr zahlreichen Schar von Einzelkriställchen. Da diese nun selten genau parallel miteinander verwachsen sind, erscheinen die entstandenen Scheinflächen gekrümmt, facettiert, sattelförmig verbogen, was man allgemein als Wachstumsstörung bezeichnet.

Vereinigen sich die einzelnen Kristallflächen nicht in paralleler Stellung, sondern in gesetzmäßiger Weise unter bestimmten Winkeln zueinander, so entstehen Kristallzwillinge. Jeder von den beiden Brüdern wächst dann für sich zu einem großen Kristall aus, so daß sich die Kristallzwillinge oft durch eine beträchtliche Größe vor den einfachen Kristallen auszeichnen.

Natürlich spielen hierbei, wie schon früher betont wurde, die Verhältnisse physikalisch-chemischer Art, wie Druck und Temperatur außer der schon erwähnten Konzentration, eine große Rolle, insofern als sie das Wachstum oft in eigenartiger Weise zu beeinträchtigen vermögen. Auch die Reinheit der Lösung ist für die Winkel der Baulinien und die Abstände der Gleichgewichtslagen der Atome maßgebend. Drängt sich z. B. in einer mit Natriumbromid verunreinigten Lösung von Natriumchlorid ein Bromatom an Stelle eines Chloratoms bei f (Abb. 79) ein, so ist klar, daß der Abstand a f ein anderer sein wird als beim reinen Natriumchlorid. Dieses „Vikariieren" (Stellvertreten) der Bromatome geschieht beim Wachsen des Kristalls ganz zufällig, und so erhält der fertige Kristall einen mittleren Abstand der maßgebenden Teilchen, der im Verhältnis der Menge der Bromatome zu den Chloratomen gegenüber dem reinen Natriumchlorid vergrößert ist.

3. Wie kann die Spaltbarkeit der Kristalle aus dem Feinbau erklärt werden? Wie schon eingangs erwähnt wurde, zeichnen sich die Kristalle vor allen anderen Erscheinungsformen der Materie dadurch aus, daß sie nach ebenen Flächen zerteilt werden können, mit anderen Worten: daß sie spaltbar sind. Diese Erscheinung ist in dem Raumgitterbau begründet. Wenn wir uns das in Abb. 75 gezeichnete Steinsalzgitter nach allen Seiten unendlich weit fortgesetzt denken, so entstehen Ebenen in dem Kristall, die sich wie die Blätter eines Buches aneinanderreihen. Die neuesten Forschungen über den Zusammenhalt der Gitterteilchen in Kristallen wie Steinsalz oder Sylvin (Kaliumchlorid, hochwertiges Düngemittel) haben gezeigt (Prof. Born in Frankfurt a. M., Landé in München und Debye in Zürich), daß elektrostatische Anziehungs- und Abstoßungskräfte[1]) zwischen den Gitterteilchen wirksam sind, die mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen, d. h. also die Teilchen ziehen in der doppelten Entfernung nur mit dem vierten Teile der vorhergehenden Kraft an.

Da die Theorie zeigt, daß ein solches Gitter gegenüber kleinen Verschiebungen noch nicht „stabil", haltbar bleibt, sondern bei der geringsten Störung zerfallen würde, ist man zur Annahme weiterer Abstoßungskräfte gelangt, die erst bei großer Annäherung, also beim Aufeinanderstürzen der Teilchen wirksam werden und mit einer viel höheren Potenz der Entfernung[2]) abnehmen als die elektrostatischen Kräfte.

Zunächst ist klar, daß die Trennung nach solchen Ebenen am leichtesten sein wird, die an sich die größten Abstände haben, das sind in unserem Steinsalzbeispiel die Würfelflächen. Andererseits müssen die Ebenen an sich mit vielen Teilchen besetzt sein, damit sie überhaupt als Ebenen wirken.

Das Spalten eines Kristalles geschieht bekanntlich dadurch, daß man eine feine Messer-

[1]) Wenn man eine Siegellackstange reibt und zwei an Fäden unmittelbar nebeneinander hängende Holundermarkkügelchen damit berührt, so laden sich beide Kügelchen negativ auf und es entsteht zwischen ihnen eine elektrostatische Abstoßungskraft, die sie in bestimmter Lage auseinander hält. Ladet man dagegen eines der Kügelchen positiv durch Berühren mit einem geriebenen Glasstab, das andere negativ, so ziehen sich beide gegenseitig stark an und stürzen aufeinander, wodurch sich ihre Ladung ausgleicht. So stößt auch im Steinsalzgitter ein Natrium-Jon (+ geladen) ein zweites Natrium-Jon (+ geladen) heftig ab, dagegen zieht es ein Chlor-Jon (— geladen) an sich heran. Beide fallen aber nicht aufeinander, da bei starker Annäherung eine Abstoßungskraft wirksam wird, die sie in einem gewissen Abstand voneinander in der Schwebe hält. Dieser Abstand ist gleich der halben Würfelkante.

[2]) In der doppelten Entfernung sinkt also die Stärke der abstoßenden Kraft nicht auf $\frac{1}{2}$, auch nicht auf $\frac{1}{2 \cdot 2} = \frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ (2. Potenz), sondern mindestens auf $\frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 2} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8}$ (3. Potenz), wahrscheinlich aber noch weiter, etwa auf $\frac{1}{2^4}$, $\frac{1}{2^5}$ oder $\frac{1}{2^6}$ (4., 5., 6. Potenz), mithin auf $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$ oder $\frac{1}{64}$ der ursprünglichen Kraft in der einfachen Entfernung herunter.

schneide etwa parallel zur Würfelkante eines Steinsalzkristalles aufsetzt und einen leichten Schlag mit dem Hammer führt. Der Kristall zerspringt dann in zwei völlig ebene Spaltstücke. Von dem inneren Wesen des Vorganges gibt uns Abb. 80 eine Anschauung. Da der Abstand zwischen einem Chlor- und einem Natriumatom von der Größenordnung eines Zehnmillionstel eines Millimeters ist, so trifft auch die feinste Rasiermesserschneide etwa von $^1/_{100}$ mm Dicke noch weit über 100 000 Atome zugleich und wirkt beim Daraufschlagen mit dem Hammer so, daß sie den getroffenen punktiert gezeichneten

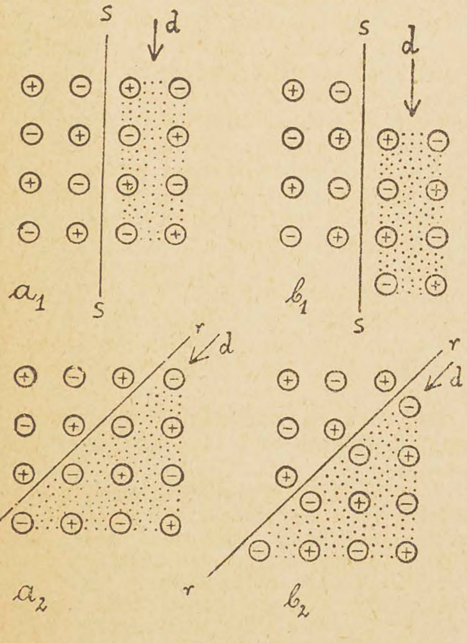


Abb. 80.
Innere Vorgänge beim Spalten von Kristallen.
ss = Spaltfläche.
d = Richtung des wirksamen Drucks.
rr = Verschiebungsflächen.

Atombereich in der angegebenen Richtung gegen den übrigen Kristall zu verschieben sucht. Nach Prof. Stark (Greifswald) spielt sich dabei folgender Vorgang ab: Als eventuelle Trennungslinie kann nur der freie Raum zwischen zwei Atomebenen in Betracht kommen. In Abb. 80a_1 erkennt man, daß im unverletzten Kristall stets ein +-Teilchen einem —-Teilchen gegenübersteht, so daß der Kristall zusammenhält. Beim Verschieben des rechten Teiles der Abb. 80a_1 ereignet es sich, wie es in Abb. 80b_1 gezeichnet ist, daß zu beiden Seiten der Trennungslinie S S sich gleichartige Atome gegenüberstehen. Diese stoßen einander ab und der Kristall zerfällt in die beiden Hälften längs der Trennungslinie s s.

4. **Wie kann die Plastizität, Knetbarkeit der Kristalle erklärt werden?** Bekanntlich verhalten sich viele Kristalle unter großem Druck plastisch, d. h. wie knetbare Körper, so die bekanntesten Metalle Kupfer, Eisen (geschmeidige Metalle), auch andere Substanzen wie Steinsalz, Sylvin, Eis. Diese Formbarkeit beruht auf einer leichten Verschiebbarkeit der Teilchen des Raumgitters nach bestimmten Ebenen. Abb. 81 zeigt schematisch die inneren Vorgänge bei dem leicht anzustellenden Versuch, einen Eisblock durch Druck aus seiner Form zu bringen, zu deformieren. Bei der Bearbeitung

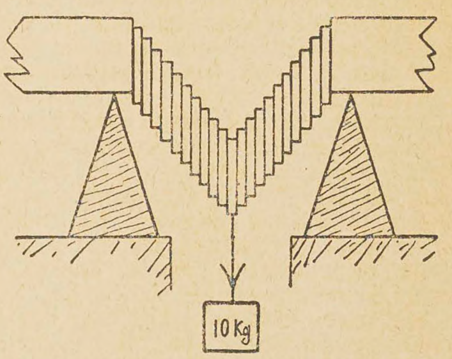


Abb. 81.
Verschiebbarkeit der Teile eines Eisblockes durch Druck

tritt also ein fortwährendes Ausweichen der Substanz ein, wodurch es ermöglicht wird, einen Draht aus einem massiven Metallstab zu ziehen oder ein Blech aus einem Block zu walzen. Es soll versucht werden, dieses plastische Verhalten beim Steinsalz zu erklären. Hier sind die Ausweichungsebenen die 12 Flächen eines Rhombendodekaeders (Abb. 80a_2 und b_2). Eine dieser Flächen ist in der Abb. 80a_2 durch die Linie r r dargestellt. Wird der Kristall nun in einer beliebigen Richtung gedrückt, so läßt sich der Druck stets in zwei Teildrucke zerlegen, von denen der eine parallel, der andere senkrecht zur Fläche r r wirkt. Der Druck parallel r r sucht die rechte Hälfte des Kristalls, also den punktierten Teil in der gezeichneten Richtung zu verschieben. Im Gegensatz zur Abb. 80b_1 sehen wir, daß dabei stets entgegengesetzt geladene Atome aneinander vorbeilaufen, so daß der Zusammenhalt, wie Abb. 80b_2 zeigt, gewahrt bleibt.

Der Druck senkrecht zu r r würde eine Verschiebung in einer auf r r senkrechten Gleitrichtung bedingen, wobei ebenfalls kein Zerfall eintritt. In Wirklichkeit — die Abbildungen a_2 und b_2 zeigen ja nur einen Schnitt — geschieht nun das Gleiten nach allen möglichen der 12 Flächen zugleich, wodurch sich die hohe Formbarkeit des Steinsalzes erklärt.

Gewisse Ähnlichkeit hat sicherlich das Ver-

halten eines Metalldrahtes beim Ziehen, indem die einzelnen Kriställchen so deformiert, entstellt werden, daß die Substanz längs der Gleitflächen in der Streckungsrichtung abgleitet, wodurch eine Parallelstellung der Kriställchen eintritt. Die neuesten Untersuchungen mittelst Röntgenstrahlen haben gezeigt, daß die Achsen von gezogenen Drähten stets eine kristallographische Richtung sind und daß der Drahtquerschnitt eine der möglichen Gleitflächen ist. So liegt im gezogenen Kupferdraht eine von den 12 Rhombendodekaederflächen senkrecht zur Drahtachse, während die übrigen schräg dazu liegenden die leichte Formbarkeit ermöglichen.

Die angeführten Erklärungen sind — auch wenn sie die endgültigen Lösungen noch nicht sein sollten — doch geeignet, uns ein anschauliches Bild der Eigenschaften der Kristalle aus ihrem Feinbau zu liefern. Dieses Problem bildet die Aufgabe einer neuen im Entstehen begriffenen Wissenschaft, die man als Raumgitterphysik und Raumgitterchemie bezeichnen kann. In ihrem Schoße liegen noch unbekannte Aufgaben für die Technik, deren Lösung voraussichtlich für viele Arbeitsprozesse bedeutsame Umänderungen herbeiführen und damit letzten Endes den Kampf der Menschheit ums Dasein erleichtern wird.

Zweiter Teil. Gesteinskunde (Petrographie)

Neunzehnter Abschnitt. Einteilung der Gesteine

Die Lehre von den Gesteinen ist das Bindeglied zwischen der Mineralogie und der Geologie.

Worin besteht der Unterschied zwischen Mineral und Gestein? Das Mineral ist hinsichtlich seiner chemischen Zusammensetzung fest umgrenzt, das Gestein dagegen zeigt entsprechend der wechselnden Menge der in ihm vereinigten Mineralien keine feste chemische Zusammensetzung, wohl aber bildet es hinsichtlich seiner erdgeschichtlichen Entstehung etwas Einheitliches.

Die Vorgänge, unter denen sich Gesteine bilden, sind höchst selten unmittelbar zu beobachten.

Nach dem bekannten Satz, der immer wieder seine Bestätigung erfährt: „Die Natur macht keine Sprünge", findet auch bei den Gesteinen ein allmählicher Übergang von der einen Art zur anderen statt.

Man unterscheidet 3 Hauptgruppen von Gesteinen:

1. Erstarrungs- oder Eruptiv-Gesteine (erumpere = emporbrechen),
2. Absatz-, Schicht- oder Sedimentgesteine (sedere = sich niedersetzen),
3. Kristalline Schiefer.

Zwanzigster Abschnitt. Die gesteinsbildenden Mineralien

Als Baustoffe oder Komponenten (componere = zusammensetzen) der Gesteine kommen von den ungefähr 1000 bisher bekannten Mineralien nur rd. 50 in Frage. Von diesen sind wiederum rd. 30 von allgemeiner Verbreitung (siehe das Verzeichnis der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien) und meist schon mit dem bloßen Auge oder mit der Lupe erkennbar. Zu ihrer sicheren Bestimmung aber ist ein Dünnschliff des betreffenden Gesteines und eine Untersuchung mit Hilfe des Polarisations-Mikroskopes (siehe S. 31) unumgänglich nötig. Die übrigen rd. 20 Mineralien kommen viel seltener vor und interessieren nur den Fach-Petrographen.

Verzeichnis der wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien.

- Quarz
- Kalifeldspat oder Orthoklas,
- Kalknatronfeldspat oder Plagioklas
- Nephelin, Leuzit } Feldspatvertreter
- heller Glimmer oder Muskowit
- dunkler Glimmer oder Biotit
- Augit oder Pyroxen
- Hornblende oder Amphibol
- Diallag
- Olivin
- Serpentin
- Chlorit
- Kalkspat
- Dolomit oder Bitterspat
- Eisenspat
- Schwerspat oder Baryt
- Flußspat oder Fluorit
- Steinsalz
- Anhydrit
- Gips
- verschiedene Kalisalze
- Schwefelkies oder Eisenkies
- Magnetit oder Magneteisen
- Roteisen
- Brauneisen oder Limonit
- Apatit
- Zirkon
- Rutil
- Granat
- Turmalin
- Graphit.

Diese Mineralien durch die Anschauung kennen zu lernen, dazu bietet jede naturwissenschaftliche Sammlung einer Mittelschule (Realschule, Gymnasium), meist auch diejenige einer Volksschule Gelegenheit.

Einundzwanzigster Abschnitt. Die Entstehung der Gesteine

Eruptivgesteine

Die Eruptivgesteine sind hervorgegangen aus hauptsächlich kieselsäurehaltigen Schmelzflüssen, die aus dem Erdinnern emporgedrungen und entweder innerhalb der Erdkruste als plutonische Gesteine (Pluto = Gott der Unterwelt) oder auf der Erdoberfläche selbst als vulkanische Gesteine erstarrt sind (vgl. Abb. 82). Je nachdem dies im Altertum oder im Mittelalter und der Neuzeit der Erde (vgl. die Übersicht über die geologischen Formationen in dem Abschnitte „Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde") geschah, spricht man von alt- oder jungvulkanischen Gesteinen, den Paläo- oder Neovulkaniten.

Der aus dem Erdinnern in glutflüssigem Zustande emporgedrungene Gesteinsschmelzfluß (Abb. 82 P) hat die vorhandenen Schichten emporgewölbt, sich z. T. in sie einen Weg gebahnt und dabei größere oder kleinere Partien S in seinen Leib aufgenommen. Diese sowohl wie das gesamte Gestein, in welches der Schmelzfluß eingedrungen ist, sind in der Nähe des Schmelzflusses „kontaktmetamorph" (siehe S. 48) verändert worden. Aus dem großen Becken glutigen Gesteines sei weiterhin das Magma auf 2 Kanälen an die Erdoberfläche emporgedrungen. Alsdann hat sich einerseits eine große Decke glutiger Lava ausgebreitet, die wir heute als aus Quarzporphyr, Melaphyr, Diabes, Phonolith oder Basalt (siehe unten) wiederfinden. An anderer Stelle, wo das Magma, mit Gasen und Dämpfen vermischt, die Erdoberfläche erreicht hat, ist ein Vulkanberg entstanden, der, bis auf den heutigen Tag aus tiefliegenden Becken gespeist, noch tätig sein kann.

A. Ein Gesteinsschmelzfluß wird nun um so gleichmäßiger zur Kristallisation kommen, je langsamer die Abkühlung erfolgt und je mehr alle die Stoffe in ihm verbleiben, die den Kristallbrei möglichst leichtflüssig erhalten. Das sind aber allerhand Gase und hochgespannter, also auf weit über 100° erhitzter Wasserdampf. Ist der Schmelzfluß bis auf die letzten Spuren zum Aufbau der das Gestein bildenden Mineralien verbraucht worden, so daß kein zu Gesteinsglas erstarrter Rest mehr besteht, dann haben wir den Typus

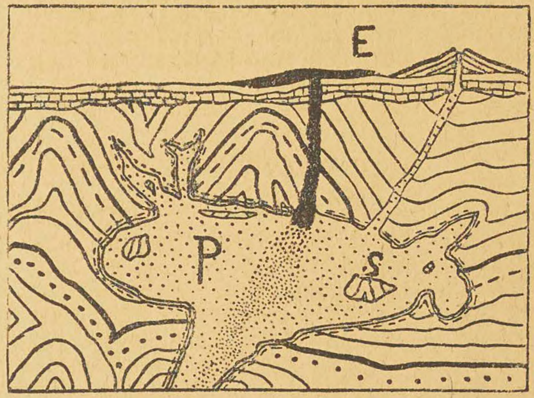


Abb. 82. Zusammenhang zwischen unterirdisch erstarrten (plutonischen) Gesteinen P und an der Erdoberfläche erstarrten (vulkanischen) Gesteinen E. S = Schieferscholle. (Querschnitt)

eines Plutonites, also eines „vollkristallinen" Gesteins, wie es nur innerhalb der Erdkruste entstanden sein kann (Abb. 82 P). Die einzelnen Gemengteile sind dann zwar keine hinsichtlich ihrer äußeren Form wohl ausgebildeten Kristalle, sondern infolge des gleichzeitigen Wachstums äußerst zahlreicher Einzelkristalle nur Kristallkörner geworden.

Tabellarische Übersicht der Eruptivgesteine.

	Orthoklasgesteine		Plagioklasgesteine		Feldspatfreie Gesteine
wichtigste Mineralbestandteile	Orthoklas Quarz Glimmer	Orthoklas Amphibol	Plagioklas Amphibol	Plagioklas Pyroxen ± Olivin	Olivin ± Pyroxen
Tiefengesteine oder Plutonite	Granit	Syenit	Diorit	Gabbro	Peridotit
altvulkanische Ergußgesteine oder Paläovulkanite	Quarzporphyr	quarzfreier Porphyr	Porphyrit	Melaphyr Diabas	Pikrit
jungvulkanische Ergußgesteine oder Neovulkanite	Liparit oder Rhyolith	Trachyt Phonolith	Andesit	Feldspat-Basalt	—
Gehalt an Kieselsäure SiO_2	rd. 70—75 %	rd. 60 %	rd. 50 %	rd. 45—50 %	rd. 40 %

Je nach der mineralischen Zusammensetzung bezeichnet man sie — wie die tabellarische Übersicht der Eruptivgesteine im einzelnen angibt — als Granit (Abb. 13), Syenit, Diorit, Gabbro und Peridotit.

B. Der gleichmäßig ruhige Fortgang der Auskristallisation eines Gesteins kann aber durch das Aufsteigen des Magmas (Magma = der knetbare Teig) an die Erdoberfläche unterbrochen worden sein. Die alsdann entstehenden Gesteine bilden, wie schon erwähnt, die Reihe der Vulkanite; ursprünglich wohl ausgebildete Kristalle werden infolge der Änderungen der „Mutterlauge", also des Schmelzflusses, etwa durch entweichende Gase und Dämpfe und damit Abnahme von Druck und Temperatur oder auch durch Zufuhr neuen Magmas aus der Erdtiefe in ihrer Existenz bedroht, sie werden angenagt oder angefressen (Abb. 83q). Bei weiterer Abkühlung erstarrt der ganze Gesteinsbrei. Dabei kann sich an den bereits gebildeten Kristallen nichts mehr ändern. Der bis zuletzt flüssige Anteil verfestigt sich zu einer „Grundmasse", die völlig wie Glas erscheinen kann. Ihr wahrer Bau läßt sich erst bei sehr starker Vergrößerung mit Hilfe des Polarisations-Mikroskopes ermitteln. Die Gesteinsstruktur heißt eine „porphyrische". Die Kristalle bezeichnet man als Einsprenglinge. Je nach der mineralischen Zusammensetzung werden die einzelnen Gesteine — entsprechend der Tabelle auf Seite 45 — als Porphyr (Abb. 83), Porphyrit, Melaphyr (Abb. 25), Diabas, Pikrit, Liparit, Trachyt, Phonolith (Abb. 24), Andesit und Basalt benannt.

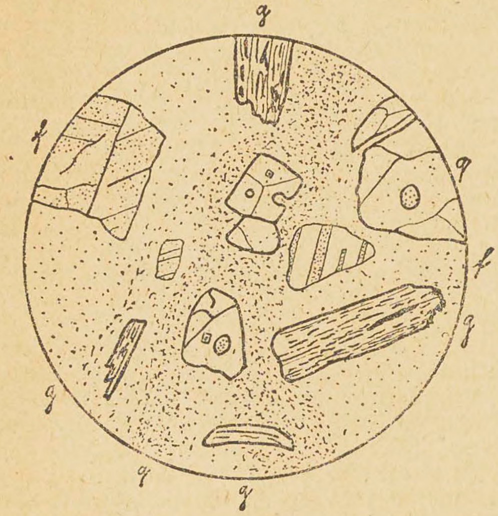


Abb. 83. Quarzporphyr. Dünnschliff. Vergr. 20× q = Quarz, f = Feldspat, g = Glimmer. Der Rest ist Grundmasse

Es kann vorkommen, daß das glutflüssige Gesteinsmaterial nicht in gleichmäßig ruhigem Fluß dem Erdinnern entströmt ist, sondern daß in dem Eruptionskanal fortdauernd Explosionen stattfanden. Alsbald wird sich aus den zerblasenen gröberen Massen, den vulkanischen Bomben, Lapilli (lapis = der Stein) und Sanden sowie aus den feineren Teilen, den vulkanischen Aschen, ein Vulkankegel aufgebaut haben. Die aus früheren Erdperioden stammenden vulkanischen Tuffe können verfestigt worden sein.

C. Schließlich kann auch, hauptsächlich infolge sehr rascher Abkühlung, der gesamte Schmelzfluß zu einer Glasmasse erstarren. Das gilt vor allem für solche Magmen, die bei langsamer Abkühlung die Gesteine Granit, Quarzporphyr und Liparit oder bei geringerem Kieselsäuregehalt Syenit, quarzfreien Porphyr, Trachyt und Phonolith ergeben. Die paläovulkanischen Gesteinsgläser, die also dem Quarzporphyr und dem quarzfreien Porphyr entsprechen, heißen Pechsteine (Abb. 22), die bezüglichen neovulkanischen Obsidiane. Erwähnt werden beide wegen ihrer großen technischen Bedeutung: Die verwitterten Pechsteine geben eine hervorragende Porzellanerde (Meißen), die Obsidiane liefern vielen auf niederer Kulturstufe stehenden Völkern ein vorzügliches Material für Steinbeile, -messer und -schaber.

Zweiundzwanzigster Abschnitt. Sedimentgesteine

Die Sedimentgesteine sind aus älteren Gesteinen infolge der Einwirkung von Wasser, Eis oder Wind, also durch mechanische und chemische Zerstörung, zumeist unter Abtransport und gleichzeitiger Umlagerung der Bestandteile hervorgegangen. Ihre Einteilung zeigt die folgende Tabelle.

Übersicht der Sedimentgesteine

1. Mechanische Sedimentgesteine.

lose:	Schutt	Flußgerölle Gletschergeschiebe	Sand	Lehm Ton	kalkiger Schlamm tonig-kalkiger Schlamm
verfestigt:	Breckzie	Konglomerat	Sandstein Grauwacke	Schieferton (weich) Tonschiefer (fest)	Kalkstein Mergelkalk

2. Chemische Sedimente.
Ausscheidungen ohne Hilfe von Lebewesen:
Steinsalz, Anhydrit, Gips, Kalisalze,
Ausscheidungen mit Hilfe von Lebewesen,
kalkig: Foraminiferen-, Korallen-, Muschel- usw. Kalke,
kieselig: Radiolarit oder Kieselschiefer; Tripel oder Diatomeenerde,
phosphatisch: Phosphorit,
erzig: Raseneisenstein,
3. Fossile Brennstoffe:
Torf → Lignit → Braunkohle → Steinkohle → Anthrazit.
Erdöl.
Bitumen, Erdpech, Asphalt. Erdwachs.

Über die in diesen Sedimentgesteinen enthaltenen tierischen und pflanzlichen Reste, die „Versteinerungen", ist in diesem Werk in dem Abschnitte „Entwicklungsgeschichte des Lebens auf der Erde" ausführlich berichtet. Sie bilden das wichtigste Mittel, um das Alter der betreffenden Ablagerung festzustellen.

Dreiundzwanzigster Abschnitt. Kristalline Schiefer

Alle Bestandteile der Eruptiv- und der Sedimentgesteine sind unter gewöhnlichen Verhältnissen in Wasser sehr schwer löslich. Aber mit zunehmendem Druck und zunehmender Temperatur steigt auch ihre Löslichkeit im Wasser und im Wasserdampf, die im Mineralreiche fast ausschließlich als Lösungsmittel in Frage kommen (Abb. 1). Somit besteht die Möglichkeit, daß in tieferen Erdschichten Gesteine eine Umgruppierung ihrer Baustoffe, eine Metamorphose erleiden, die, weil sie in tieferen Regionen vor sich geht, im besonderen als Regional-Metamorphose bezeichnet wird. Die Umwandlungsprodukte selbst heißen kristalline Schiefer. Zu ihnen gehören Gneis (Abb. 26), Granulit, Glimmerschiefer, Phyllit, Quarzit, Chlorit- oder Grünschiefer, Talkschiefer, verschiedene Hornblende- und Pyroxen-Gesteine, Serpentin, Marmor (Abb. 7), und verschiedene Erzgesteine (Oxyde = Verbindungen von Metall mit Sauerstoff; Sulfide = Verbindungen von Metall mit Schwefel).

Der Gneis unterscheidet sich hinsichtlich seiner mineralischen und damit auch chemischen Zusammensetzung meist kaum vom Granit. Die Gemengteile, also der Quarz, Orthoklas und Glimmer, sind lediglich anders, nämlich zu einzelnen Lagen, angeordnet. Dadurch entsteht eine zwischen der körnigen und schieferigen stehende, eben die charakteristische Gneisstruktur.

Im Granulit ist die lagenweise Anordnung der genannten 3 Mineralien noch weiter gegangen, so daß vollkommen parallele Bänder entstanden sind.

Der Glimmerschiefer besteht nur noch aus abwechselnden Lagen von Quarz und Glimmer; er spaltet leicht zu dünnen Tafeln, die stets von dünnen, aber stark glänzenden Glimmerhäutchen überzogen sind.

Den Phyllit unterscheidet vom Tonschiefer nur der gleichfalls von feinsten Glimmerlamellen hervorgerufene intensive Glanz.

Das Vorkommen der kristallinen Schiefer ist auf die Zonen beschränkt, die aus größerer Erdtiefe emporgehoben und sodann von der schützenden Hülle befreit worden sind. Zu diesen Zonen gehören in Deutschland vor allem der böhmisch-bayrische Wald, das Fichtelgebirge, Erz- und Riesengebirge, der Schwarzwald, die Vogesen, der Odenwald, Spessart und der nordwestliche Teil des Thüringerwaldes, sodann der zentrale Teil der Alpen, welche zwar erst im Tertiär ihre Emporwölbung, aber seitdem eine sehr rasche und tiefgreifende Abtragung erfahren haben.

Vierundzwanzigster Abschnitt. Die Scheidung der Magmen

Es ist von größtem Interesse, zu verfolgen, wie die in der Tabelle auf S. 45 aufgeführten Eruptivgesteine miteinander verwandt sind. Man hat schon seit Jahrzehnten zahlreiche Massive der ganzen Welt auf ihren Gesteinsbestand hin untersucht. Denkt man sich etwa durch eine große Eruptivmasse (Abb. 82) einen senkrechten Schnitt, also ein Profil gelegt, so zeigt sich im allgemeinen in den Kernpartien eine Anhäufung der an Kieselsäure (SiO_2) reicheren, hellen Bestandteile, in den Randzonen dagegen das Umgekehrte, also die Anreicherung der kieselsäureärmeren, dunklen Mineralien, die im äußersten Falle zu großen Erznestern (Nordamerika) führen kann. Ein Idealbild der Abstufung gibt Abb. 84 im Grundriß wieder.

Über die inneren Ursachen der Differenzierung des Magmas innerhalb der großen Eruptivmassive haben die Untersuchungen der Geologen, Mineralogen und Chemiker, die besonders in den Vereinigten Staaten mit allen Mitteln neuzeitlicher Forschung in Angriff genommen worden sind, noch

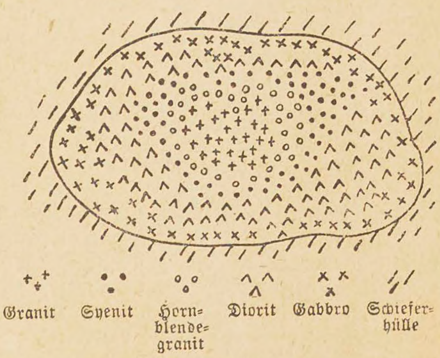


Abb. 84. Schema der Differenzierung (Scheidung) eines Gesteinsmagmas (Grundriß).

keine Klarheit gebracht. Dem Fernstehenden mag die Beantwortung dieser Frage belanglos erscheinen, indessen stehen mit ihr so viele andere Dinge in Zusammenhang, daß Wissenschaft und Technik aus ihrer Bearbeitung zweifellos großen Nutzen ziehen werden.

Fünfundzwanzigster Abschnitt. Die Kontaktmetamorphose

Bei der Entstehung der Gesteine (S. 45) war davon die Rede, daß das glutflüssige Magma sein Nebengestein „kontaktmetamorph" verändert. Würden wir etwa durch den in Abb. 82 dargestellten plutonischen Gesteinskörper in halber Höhe der Abbildung einen wagerechten Schnitt ausführen und die obere Hälfte abheben, so käme ungefähr ein Grundriß, wie ihn Abb. 85 wiedergibt, zustande.

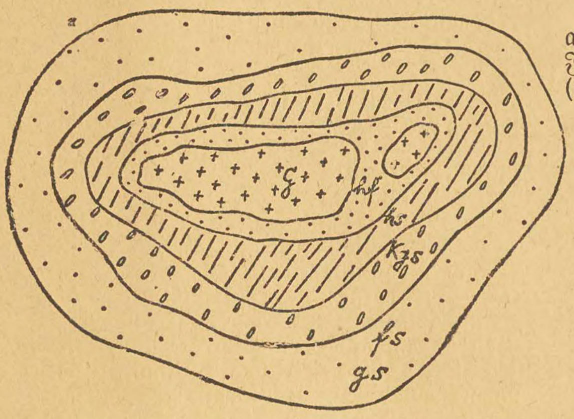


Abb. 85. Granitstock mit Kontakthof (Grundriß)

G = Granit
hf = Hornfels: innerster Kontakthof
ks = Hornschiefer: 2. „
kgs = Knotenglimmerschiefer: 3. „
fs = Fruchtschiefer } = Knotentonschiefer: äußerster „
gs = Garbenschiefer }

Der innerste Teil des Kontakthofes besteht aus dem am weitesten veränderten Gestein. Alles, was an das ursprüngliche Gestein, etwa einen Schiefer, erinnert, ist verschwunden. Äußerst harte, in ihren Gemengteilen nicht mehr unterscheidbare, also dichte Produkte sind entstanden, von großer Zähigkeit und splitterigem Bruch. Das Äußere oder, wie der Petrograph sagt, der Habitus hat dem Gestein den bezeichnenden Namen „Hornfels" eingebracht. Mikroskopisch erweist es sich als ein Gemenge von Quarz und Verbindungen der Tonerde mit Kieselsäure, also Tonerdesilikaten. Solche Mineralien sind z. B. Andalusit und sein an Graphit reicher Verwandter, der Chiastolit (weil sein Inneres wie ein griechisches Kreuz, das Chi, aussieht), ferner der Cordierit, Sillimanit, der Glimmer, verschiedene Granate, auch Plagioklas-Feldspat und als Verwitterungsprodukt sehr häufig der grünliche Chlorit. Zu den ursprünglich vorhandenen Mineralien sind also verschiedene neugebildete hinzugetreten. Die Anordnung der einzelnen Gemengteile oder wie man sagt, die Struktur des Gesteines (struere = bauen) zeigt deutlich den Ursprung an. Der geübte Gesteinskundige erkennt daher aus der mikroskopischen Untersuchung des Dünnschliffs sofort die Zugehörigkeit des Gesteins.

Die zweite und dritte Zone des Kontakthofes enthält in den Hornschiefern und Knotenglimmerschiefern noch sehr stark veränderte Gesteine, die außer den schon genannten Mineralien vor allem reichlich Glimmer führen.

Den äußersten, also von der Umkristallisation am wenigsten ergriffenen Rand nehmen die Fruchtschiefer (Abb. 86) und Garbenschiefer (Abb. 87) ein.



Abb. 86. Fruchtschiefer aus dem äußersten Kontakthof



Abb. 87. Garbenschiefer aus dem äußersten Kontakthof

Die Knoten in den Fruchtschiefern ähneln in Größe und Form Getreidekörnern, daher der Name. Sie bestehen aus einem Mineralhaufwerk, in dem besonders reichlich Graphit vorkommt. Gut erhaltene Exemplare lassen erkennen, daß sie früher Andalusite gewesen sind. So sehr die „Früchte" dem bloßen Auge scharfe Umrisse zeigen, so sehr gehen sie unter dem Mikroskop in das Gestein selbst über.

Auf den Schichtflächen des Garbenschiefers sind eben diese garbenförmigen Mineralanhäufungen, zumeist neugebildete Hornblende-Individuen sichtbar. In den Alpen sowohl wie an den verschiedensten Stellen der deutschen Mittelgebirge, an denen Granitmassen emporgedrungen sind, finden sich solche Garbenschiefer.

Noch weiter nach außen zu gehen die Garbenschiefer allmählich in normale Tonschiefer über, die je nach ihrem Alter auch Versteinerungen führen können.

Ein großer Irrtum wäre es, zu glauben, die eben genannten Tonschiefer zeigten in ihren Schieferungsflächen die ursprünglichen Ablagerungs-, also die Schichtflächen an.